

29 603/467

TESIS

PERANCANGAN CERMIN PANAS DENGAN OPTIMASI TERHADAP VARIASI TEBAL LAPIS

Oleh :

SITI IZUL HIJAH

Nrp. 1104 201 024



**PROGRAM STUDI MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN OPTOELEKTRONIKA
JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2006

OPTIMASI PERANCANGAN CERMIN PANAS DENGAN VARIASI TEBAL LAPIS

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)**

Oleh :

SITI IZUL HIJJA
Nrp. 1104 201 024

Tanggal ujian : 24 Juli 2006

Disetujui Oleh Tim Penguji Tesis :

1. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc
NIP. 130 206 100

(Pembimbing 1)

2. Drs. Ali Yunus Rohedi, MT
NIP. 132 054 882

(Pembimbing 2)

3. Drs. Hasto Sunarno, M.Sc
NIP. 130 819 392

(Penguji 1)

4. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
NIP. 131 996 146

(Penguji 2)

Direktur Program Pasca Sarjana,

Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc., Ph.D.
NIP. 130 541 829



Karya ini khusus ku persembahkan kepada
Kedua orang tuaku, keluarga
Besarku dan yang selalu mencintai, melindungi
dan menyanyangiku

izul '06



... (Alloh) mengilhami (sukma) kejahatan dan kebaikan. Sungguh, bahagialah siapa yang menyucikannya. Dan rugilah siapa yang mencemarkannya ...

(QS Asy-Syams 91:8-10)

ABSTRAK

Rev 01/15

PERANCANGAN CERMIN PANAS DENGAN OPTIMASI TERHADAP VARIASI TEBAL LAPIS

Nama : Siti Izul Hijjah

NRP : 1104 201 024

Abstrak

Telah dilakukan perancangan cermin panas 10, 20 dan 30 lapis pada panjang gelombang infra merah (800-2000 nm) dengan ZnS ($n_H = 2,30$) dan MgF_2 ($n_L = 1,38$) sebagai lapisan film, dan kaca ($n = 1,52$) sebagai substratnya. n_H n_L disusun bergatian, dengan n_L untuk lapis genap dan n_H untuk lapis ganjil. Reflektansi dihitung dengan menggunakan teknik Optimasi *conjugate gradient*, dalam bahasa pemrograman MATLAB 6.5. Dengan memvariasikan tebal masing-masing lapis, maka didapatkan rancangan cermin panas 10 lapis yang terbaik memiliki $R_{total} = 74,3325 \%$, rancangan cermin panas 20 lapis menghasilkan $R_{total} = 90,2415 \%$, dan rancangan cermin panas 36 lapis diperoleh $R_{total} = 98,3014 \%$. Dengan optimasi mampu menaikkan Reflektansi sebesar 20,3661 % (10 lapis), 37,0926 % (20 lapis), dan 44,3646 % (36 lapis) dari susunan standar masing-masing.

Kata kunci : Lapisan dielektrik, Optimasi, Cermin panas dan Matlab



... Take time to DREAM. It is the
future made of, and Take time to
PRAY, It is the greatest power on
earth...

(izu(-'06)

ABSTRACT



DESIGN OF HOT MIRROR BY OPTIMIZING LAYER THICKNESS VARIATION

Name : Siti Izul Hijjah

NRP : 1104 201 024

Abstract

Design of hot mirror by optimizing layer thickness variation is presented. Started from the standard quarter wavelength thickness of layers, the thickness are varied by trial and error to obtain the highest total reflectance. The result is then optimized using Conjugate Gradient Optimization Technique. The method is applied to designing 12, 20 and 36 layers, resulting the total reflectances of 74,3%, 90,2% and 98,3% respectively. These results are about 20,4%, 37,1% and 44,4% higher than the respective standard designs.

Key words : Dielectric films, Optimization, hot mirror and Matlab

... Ukuran tubuhmu tidak penting,
ukuran otakmu cukup penting, ukuran
HATI mulah yang terpenting....

(BC Gorbes)

KATA PENGANTAR



KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran **Allah SWT.** karena atas kehendak_Nya lah penelitian tesis yang berjudul :

PERANCANGAN CERMIN PANAS DENGAN OPTIMASI TERHADAP VARIASI TEBAL LAPIS

ini dapat selesai dengan tepat waktu. Untuk **Ibunda Achmaliyah**, kata terima kasih tak akan cukup buatmu, kaulah salah satu sumber kekuatan yang Allah SWT berikan dalam hidupku. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan lahiriah dan batiniah kepadamu, amin. **Ayahanda Ahmad** semoga Allah SWT senantiasa menempatkanmu disisi_Nya dan tidak memutuskan segala pahala dari amal kebaikanmu didunia, amin. Mbak **Munawaroh**, mas **Ichwan**, mas **Hasyim**, mbak **Ida**, mbak **Mila**, mas **Dwi**, mas **Hendra**, **Lail**, **wawan**, **anik**, **herlien**, **helen**, mami **Ira** dan papi **Harianto**. Juga para keponakanku **Yahya**, **Rona**, **Kiki**, **Ifa**, **Aziz**, **Fahat**, **daffa** dan **daffa junior**, tanpa semangat dari kalian aku tidak ada artinya. Terima kasih banyak dan semoga kita semua dipertemukan dalam tempat yang baik yang telah disediakan oleh Allah SWT. Amin

Rasa terima kasih yang teramat dalam juga penulis sampaikan kepada :

1. Bapak **Prof. Mahmud Zaki M.Sc.** seorang guru besar yang tidak hanya sebagai pembimbing pertama dalam penelitian ini tetapi juga pembimbing kehidupan, terima kasih atas segala kebaikannya .
2. Bapak **Drs. Ali Yunus Rohedi M.T**, terima kasih atas bimbingan dan inspirasi yang bapak berikan dalam karya ini.
3. Ibu **Ir. Retno Indryani M.S.** terimakasih atas bantuan dan kemudahan yang ibu berikan selama studi penulis di pps ITS.
4. Bapak **Drs. Hasto Sunarno M.Sc** dan bapak **Dr. Yono Hadi Pramono** sebagai dosen penguji tesis, terima kasih atas waktu dan masukannya.

5. Bapak **Dr. Bagus Jaya Santosa** yang bersedia sebagai dosen penguji progress report, terima kasih atas waktu dan masukannya.
6. Bapak **Dr. Suminar pratapa** dan bapak **Dr. Agoes Rubiyanto** sebagai ketua program pasca sarjana, terima kasih atas kemudahan dan fasilitas yang diberikan.
7. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan di jurusan fisika, terimakasih atas dukungannya.
8. Teman-teman di **ARH-57B**, terima kasih atas dukungan dan pengertian kalian selama ini.
9. Dan seluruh pihak yang terkait didalam pembuatan karya ini, semoga Allah SWT. senantiasa membalas amal baik kalian.

Tentunya karya ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan agar karya ini menjadi lebih baik. Semoga karya ini dapat bermanfaat sampai kapanpun, amin.

Surabaya, juli 2006

Penulis



... lapangkanlah hatimu agar hikma,
hidayah dan kemenangan selalu
menghampirimu ...

(izul '06)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERSEMBAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Film Lapis Jamak	4
2.2 Pehitungan Reflektansi dan Transmittansi Film Lapis Jamak	5
2.3 Cermin Panas (<i>Hot Mirror</i>)	6
2.4 Optimasi	9

2.5 Metode Conjugate Gradient	13
BAB III METODOLOGI	
3.1 Pemilihan Bahan dan Metode Optimasi	18
3.2 Perancangan dan Perhitungan	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Cermin Panas 10 Lapis	23
4.2 Cermin Panas 20 Lapis	28
4.3 Cermin panas 36 Lapis	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	



... jadikanlah hatimu surga bagi siapa
saja yang mengenalmu ...

(Izul '06)

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Film lapis jamak yang terdiri dari m lapis	4
Gambar 2.2	Struktur cermin dielektrik standart m lapis, m = ganjil (a) dan m = genap (b)	7
Gambar 2.3	Kurva Transmittansi (T), Reflektansi (R) arah normal dari cermin dielektrik standart 15 lapis dengan $\lambda_0 = 550$ nm, $n_H = 2.32$, $n_L = 1.38$, $n_s = 1.52$ dan $n_a = 1$, melauai subtrat dengan sudut datang normal	8
Gambar 2.4	Titik maksimum dan minimum lokal dan global	10
Gambar 3.1	Gambar arah pergeseran λ_p dari cermin panas 10 lapis dengan $\Delta\lambda_{p1} = 200$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm step $\Delta\lambda_p = 25$ nm, pada $\lambda = 800-2000$ nm, $\lambda_0 = 1300$ nm dan $\Delta\lambda = 10$ nm	19
Gambar 3.2	Gambar arah pergeseran λ_p dari cermin panas 20 lapis dengan $\Delta\lambda_{p1} = 125$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 375$ nm, step $\Delta\lambda_p = 25$ nm, pada $\lambda = 800-2000$ nm, $\lambda_0 = 1300$ nm dan $\Delta\lambda = 10$ nm	20
Gambar 3.3	Gambar arah pergeseran λ_p dari cermin panas 20 lapis dengan $\Delta\lambda_{p1} = 100$ nm, $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm, $\Delta\lambda_{p2} = 300$ nm, step $\Delta\lambda_p = 25$ nm, pada $\lambda = 800-2000$ nm, $\lambda_0 = 1300$ nm dan $\Delta\lambda = 10$ nm	20
Gambar 3.4	Diagram alir perhitungan $\Sigma R(\lambda)$, $R_{Total} (\%)$ dan grafik $R(\lambda)$ pada $\lambda = 800-200$ nm, $\Delta\lambda = 1$ nm	21
Gambar 3.5	Diagram alir perhitungan tebal lapis untuk R maksimum pada panjang gelombang 800-200 nm	22
Gambar 3.6	Diagram alir perhitungan $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{Total} (\%)$ pada $\lambda = 800-2000$ nm.....	22
Gambar 4.1	Grafik Reflektansi (R) terhadap λ dari cermin panas standar 10 lapis pada $\lambda = 800-2000$ nm dengan $\Delta\lambda = 1$ nm	24
Gambar 4.2	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 10 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} sebesar $\Delta\lambda_{p1} = 200$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm, pada $\lambda = 800-2000$ nm $\Delta\lambda = 10$ nm	26

Gambar 4.3	Grafik Reflektansi (R) terhadap λ dari optimasi rancangan cermin panas 10 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm dan $\Delta\lambda=10$ nm	27
Gambar 4.4	Grafik Reflektansi $R(\lambda)$ rancangan cermin panas 10 lapis standar, pergeseran λ_p dan optimasi pada $\lambda=800-2000$ nm dan $\Delta\lambda=1$ nm	28
Gambar 4.5	Diagram distribusi indeks bias terhadap tebal optis dari cermin panas 10 lapis.	29
Gambar 4.6	Grafik Reflektansi (R) terhadap λ dari cermin panas standar 20 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm dan $\Delta\lambda=10$ nm	30
Gambar 4.7	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 20 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} sebesar $\Delta\lambda_{p1} = 125$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 375$ nm, pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm	31
Gambar 4.8	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas optimasi 20 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm	32
Gambar 4.9	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 20 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} dan optimasi pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm	32
Gambar 4.10	Diagram distribusi indeks bias terhadap tebal optis dari cermin panas 20 lapis	34
Gambar 4.11	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas standar 36 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm, $\Delta\lambda=1$ nm	35
Gambar 4.12	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 36 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} sebesar $\Delta\lambda_{p1} = 100$ nm, $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm dan $\Delta\lambda_{p3} = 300$ nm, pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=1$ nm	36
Gambar 4.13	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas optimasi 36 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm	36
Gambar 4.14	Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 36 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} dan optimasi pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm	37
Gambar 4.15	Diagram distribusi indeks bias terhadap tebal optis dari cermin panas 36 lapis.	39



... Dan kepunyaan Allah-lah Timur dan Barat
maka kemanapun engkau menghadap disitulah
wajah Alloh ...

(QS Al-Baqarah 2:115)

DAFTAR TABEL



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Harga $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{Total} (\%)$ dari cermin panas 10 lapis standar dan optimasi	28
Tabel 4.2	Harga tebal masing-masing lapis dari cermin panas 10 lapis standar dan optimasi	28
Tabel 4.3	Harga $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{Total} (\%)$ dari cermin panas 20 lapis standar dan optimasi	33
Tabel 4.4	Harga tebal masing-masing lapis dari cermin panas 36 lapis standar dan optimasi	33
Tabel 4.5	Harga $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{Total} (\%)$ dari cermin panas 36 lapis standar dan optimasi	37
Tabel 4.6	Harga tebal masing-masing lapis dari cermin panas 36 lapis standar dan optimasi	38



... Sungguh, setelah kesulitan ada kemudahan.
Sungguh, setelah kesulitan ada kemudahan.
Karena itu seselaikanlah (tugasmu), teruslah rajin
bekerja. Kepada Tuhanmu tujukan permohonan...

(QS Alam-Nasyrah 94:5-8)

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada tahun 1996, *Alfred Thelen* melaporkan hasil kontes perancangan *hot mirror* (cermin panas) dalam “*Design of a hot mirror : contest result*” (Thelen 1996). Kontes yang diadakan oleh *Optical Society of America* ini diikuti oleh beberapa peneliti dari seluruh dunia. Beberapa syarat untuk merancang cermin panas dalam kontes tersebut diantaranya : jumlah lapis kurang dari 100 lapis, bahan yang digunakan *silica, alumina, tantala, titania*, serta meminimalkan *deffect function* ($D = 200 - T_{vi} - R_{ir} + \exp[(L-50)/50]$), dengan L adalah jumlah lapis. *Tikhonravov* adalah peserta kontestan yang berhasil mendapatkan D yang paling rendah sebesar 0,21 %, dari cermin panas 75 lapis, dengan menggunakan *Needle Optimization Technique* (Tikhonravov dkk, 1994) (Tikhonravov dkk, 1996) sehingga ia dinyatakan sebagai pemenang dengan rancangan terbaik.

Sementara itu menurut *Advanced technology Coating Ltd (managing innovation in thin films)*, cermin panas yang dikembangkan samapai saat ini mempunyai reflektansi total pada daerah 730 nm – 1600 nm sebesar 98%, dan trasmitansi total pada daerah cahaya tampak (*visible*) sebesar 85 % (www.advanced-technology-coating.co.uk). yang dapat dioperasikan pada suhu -40°C sampai 300° C.

Disisi lain pada jurusan Fisika FMIPA ITS, M. Arif Bustomi dkk. juga telah melakukan studi perancangan tentang filter dielektrik dengan daerah penolakan lebar (Bustomi dkk, 2002). Perancangan tersebut dilakukan dengan teknik *Trial and Error* dengan menggeser pusat panjang gelombang pusat dari masing-masing cermin pemantulnya. Sehingga didapatkan sebuah filter 51 lapis yang mempunyai daerah penolakan lebar antara 400-700 nm.

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan cermin panas dengan ZnS ($n = 2,30$), MgF_2 ($n = 1,38$) sebagai lapisan film dan kaca ($n = 1,52$) sebagai substratnya. Perancangan dilakukan pada daerah panjang gelombang infra merah (800-2000 nm), dengan menggunakan metode optimasi, dan variasi terhadap tebal lapisnya. Untuk memperoleh Reflektansi maksimal pada daerah tersebut.

1.2 Perumusan masalah

Beberapa rancangan lapisan tipis yang ada di jurusan Fisika masih dilakukan dengan metode *trial and error*. Untuk itu dalam penelitian kali ini perancangan terhadap cermin panas dilakukan dengan menggunakan metode optimasi dengan bantuan matlab 6.5

1.3 Batasan masalah

- Perancangan dibatasi hanya untuk sudut datang normal, pada daerah infra merah (800-2000 nm).
- Digunakan bahan ZnS ($n_H = 2,30$), MgF_2 ($n_L = 1,38$).



- Cermin panas yang dirancang adalah yang mempunyai jumlah lapis sebanyak 10, 20 dan 36 lapis, dengan tebal optis setiap 10-1300 nm.
- Perancangan menggunakan metode optimasi *conjugate gradient*, dengan variabel awal ditentukan dari hasil perhitungan metode *trial and error* dengan pergeseran λ_{pusat} .

1.4 Tujuan Penelitian

- Didapatkan hasil rancangan lapisan tipis dielektrik cermin panas yang optimal dengan menggunakan teknik optimasi.
- Didapatkan rancangan cermin panas yang memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dari yang ada sebelumnya (Thelen 1996) (www.advanced-technology-coating.co.uk).

... Berkarya dan beramal kabajikan dalam
segala keterbatasan dan kekurangan
adalah kebijaksanaan yang tiada tara ...

(izul '06)

BAB II DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Film Lapis Jamak

Film lapis jamak merupakan lapisan film yang terdiri dari beberapa lapis yang dilekatkan diatas suatu bahan subtrat, misalnya gelas. Biasanya lapisan-lapisan films lapis jamak terbuat dari bahan dielektrik. Gambar 2.1 memperlihatkan gambar film lapis jamak yang dilekatkan pada suatu bahan subtrat. Pada gambar terlihat bahwa lapis ke-1 berindeks bias n_1 dan tebal d_1 , lapis ke-2 berindeks bias n_2 dan tebal d_2 , lapis ke-3 berindeks bias n_3 dan tebal d_3 , demikian seterusnya sampai lapis ke- m berindeks bias n_m dan tebal d_m . Pada gambar tersebut n_s adalah indeks bias subtrat dan n_a adalah indeks bias udara.

Udara	n_a	
Lapis ke- m	n_m	d_m
	\vdots	\vdots
Lapis ke-3	n_3	d_3
Lapis ke-2	n_2	d_2
Lapis ke-1	n_1	d_1
Subtrat	n_s	

Gambar 2.1 Film lapis jamak yang terdiri dari m lapis

Adanya lapisan film diatas subtrat akan menentukan besarnya pantulan pada permukaan tersebut. Besarnya pantulan tersebut ditentukan oleh komposisi/susunan

lapisan, indeks bias lapisan, dan tebal masing-masing lapisan. Selain itu besarnya absorpsi oleh lapisan juga ikut menentukan besarnya pantulan. Untuk bahan dielektrik pengaruh absorpsi dapat diabaikan karena bahan dielektrik boleh dikatakan praktis tidak menyerap energi cahaya.

2.2 Pehitungan Reflektansi dan Transmittansi Film Lapis Jamak

Ada beberapa macam metode perhitungan transmittansi dan reflektansi pada film lapis jamak, diantaranya metode Abeles, metode Rouard, dan metode Godfrey (Heavens, 1991) (Zaki 1983). Pada perancangan dan pembuatan *hot mirror* kali ini akan digunakan metode Abeles (Furman dkk, 1993). Perhatikan sebuah lapisan dielektrik m lapis seperti pada gambar 2.1. Untuk mendapatkan harga transmittansi dan reflektansinya dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_{TE,TM} = |r|^2 \quad \text{dan} \quad T_{TE,TM} = \frac{q_s \cos \gamma_s}{q_a \cos \gamma_a} |t|^2 \quad 2.1$$

Pada persamaan 2.1 diatas untuk polarisasi TE $q_a = n_a \cos \gamma_a$ dan $q_s = n_s \cos \gamma_s$, sedangkan pada polarisasi TM $q_a = n_a / \cos \gamma_a$ dan $q_s = n_s / \cos \gamma_s$, dengan γ_a dan γ_s adalah besarnya sudut datang sinar pada medium udara dan substrat. Reflektansi dan transmittansi rata-ratanya :

$$R = \frac{R_{TE} + R_{TM}}{2} \quad \text{dan} \quad T = \frac{T_{TE} + T_{TM}}{2} \quad 2.2$$

Pada arah normal ($\gamma = 0$), $q_a = n_a$, $q_s = n_s$, sehingga persamaan 2.1 menjadi :

$$R = |r|^2 \quad \text{dan} \quad T = \frac{n_s}{n_a} |t|^2 \quad 2.3$$

Dalam persamaan 2.3 r dan t adalah koefisien refleksi dan koefisien transmisi yang diperoleh dari persamaan dibawah ini :

$$r = \frac{n_a M_{11} - n_s M_{22} + n_a n_s M_{12} - M_{22}}{n_a M_{11} + n_s M_{22} + n_a n_s M_{12} + M_{22}} \quad 2.4$$

$$t = \frac{2n_a}{n_a M_{11} + n_s M_{22} + n_a n_s M_{12} + M_{22}}$$

Harga M_{11} , M_{12} , M_{21} , dan M_{22} , pada persamaan 2.4 diatas adalah komponen dari matrik karakteristik total dari cermin panas yaitu :

$$M = M_m \cdot M_{m-1} \dots M_1 = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \quad 2.5$$

Dengan matrik karakteristik pada setiap lapis adalah :

$$M_j = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_j) & \frac{i}{n_j} \sin(\varphi_j) \\ in_j \sin(\varphi_j) & \cos(\varphi_j) \end{bmatrix} \quad 2.6$$

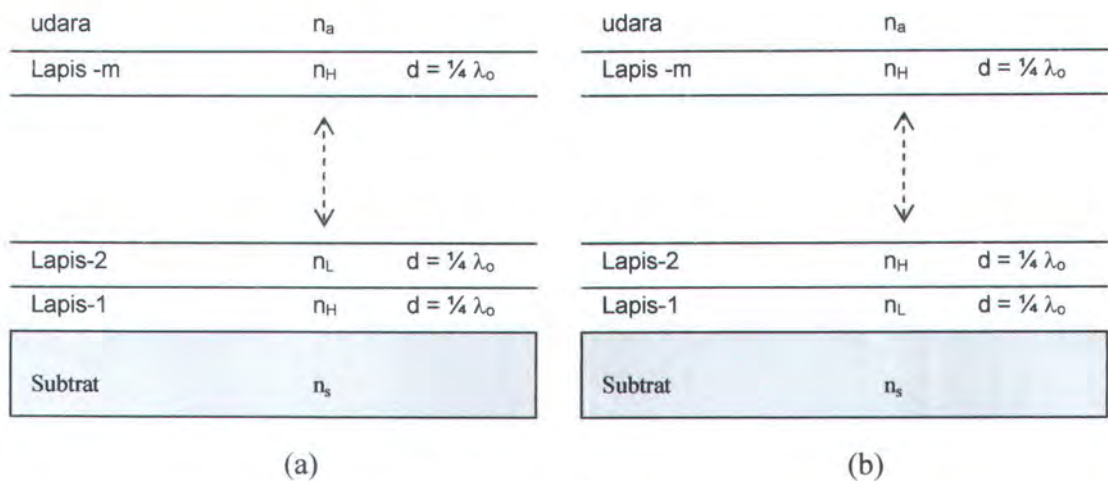
dimana $\varphi_j = kn_j d_j$, $q_j = n_j$ dengan $j = 1, 2, \dots m$ (indeks yang menunjukkan urutan lapis dari m lapis), dan k bilangan gelombang sebesar $2\pi/\lambda$.

2.3 Cermin Panas (Hot Mirror)

Cermin dielektrik atau *Dielektric Mirror*, yaitu lapisan tipis jamak dielektrik yang mempunyai pantulan (reflektansi) yang tinggi, dan biasanya terdiri atas lapis-lapis yang indeks biasnya tinggi (n_H , $n_H > n_s$), dan yang rendah (n_L , $n_L < n_s$) secara berselang-seling dengan jumlah lapis bisa ganjil atau genap. Untuk jumlah lapis genap indeks bias lapisan harus $n_1 = n_L < n_s$ dan $n_m = n_H$ atau dapat dituliskan $n_s n_L n_H$

$n_L \dots n_L n_H n_a$, dan untuk jumlah lapis ganjil susunan indeks biasanya harus $n_m = n_H > n_s$ dan $n_1 = n_H$ atau $n_s n_H n_L n_H \dots n_H n_L n_H n_a$ (Gambar 2.2), dengan demikian indeks bias lapisan ke- m harus n_H .

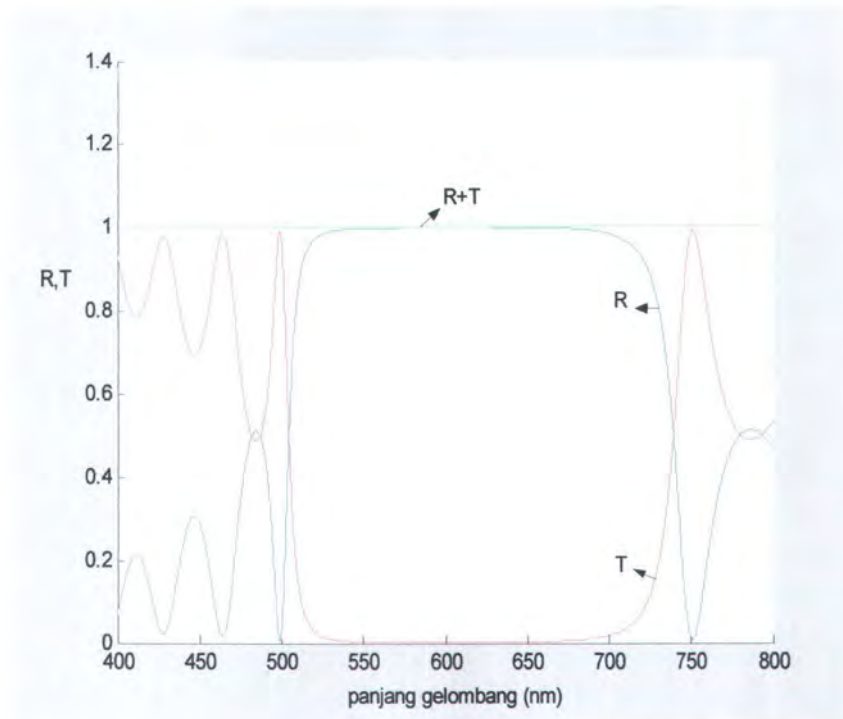
Suatu struktur rancangan cermin dielektrik pada panjang gelombang tertentu (misalnya λ_o), dengan ketebalan $\frac{1}{4} \lambda_o$ (tebal optis) pada masing-masing lapisanya (Gambar 2.2) dapat disebut sebagai cermin dielektrik standart. sehingga dapat dikatakan cermin dielektrik yang tebal setiap lapis film pemantulnya tidak seragam $\frac{1}{4} \lambda_o$, adalah cermin non-standart.



Gambar 2.2 Struktur cermin dielektrik standart m lapis, $m = \text{ganjil}$ (a) dan $m = \text{genap}$ (b).

Dibawah ini adalah gambar kurva reflektansi dan transmitansi arah normal dari pada cermin dielektrik standart, 21 lapis dengan $\lambda_o = 600 \text{ nm}$, $n_H = 2.32$, $n_L =$

1.38, $n_s = 1,52$ dan $n_a = 1$, pada daerah panjang gelombang cahaya tampak. Dari gambar 2.4 tersebut jelas bahwa $R + T = 1$.



Gambar 2.3 Kurva Transmittansi (T), Reflektansi (R) arah normal dari cermin dielektrik standart 15 lapis dengan $\lambda_0 = 550$ nm, $n_H = 2.32$, $n_L = 1.38$, $n_s = 1,52$ dan $n_a = 1$, melalui subtrat dengan sudut datang normal

Salah satu aplikasi jenis cermin tersebut adalah *hot mirror*. *Hot mirror* yang biasa juga disebut cermin panas adalah cermin dielektrik yang hanya bekerja pada daerah panjang gelombang cahaya infra merah yaitu pada 800-2000 nm. Fungsi dari *hot mirror* juga untuk mendapatkan nilai reflektansi yang besar pada daerah tersebut, dan diharapkan yang dipantulkan adalah energi panas dari infra merah itu sendiri.



2.4 Optimasi.

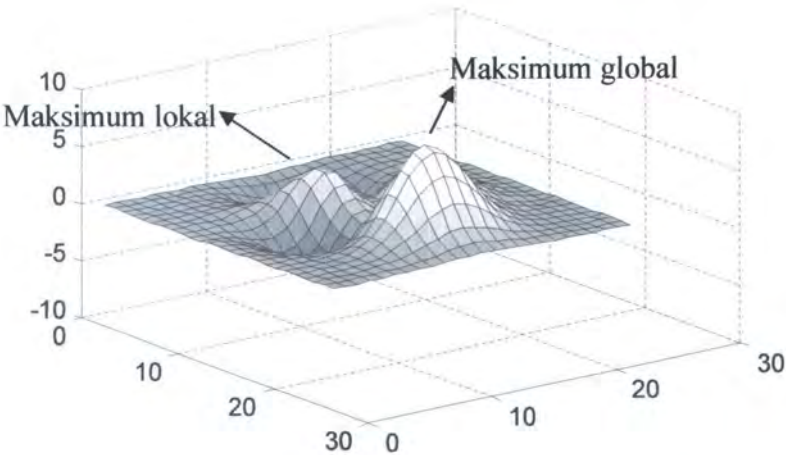
Dalam dunia perancangan sering kali didapatkan permasalahan untuk mendapatkan rancangan semaksimal mungkin tapi dengan variabel yang terbatas. Optimasi merupakan salah satu alat/metode untuk perancangan yang dimaksud diatas. Optimasi dapat didefinisikan sebagai proses untuk menemukan kombinasi beberapa parameter dengan hasil yang maksimal. Agar hasil optimasi dapat diterima, hasil tersebut harus memenuhi batasan yang telah ditentukan (*constrain*). Dalam proses pengoptimasian suatu fungsi, terlebih dahulu ditentukan nilai maksimum atau minimum fungsi tersebut.

Teorema 2.1 definisi nilai maksimum dan minimum

“diketahui fungsi dua variabel $f(x,y)$ dengan daerah definisi D . Titik (a,b) disebut titik maksimum (global) jika $f(a,b) \geq f(x,y)$ untuk setiap $(x,y) \in D$. Titik (a,b) disebut titik minimum (global) jika $f(a,b) \leq f(x,y)$ untuk setiap $(x,y) \in D$ ”. Titik maksimum (global) dan titik minimum (global) disebut juga dengan titik ekstremum global, dan nilai $f(a,b)$ nilai maksimum global atau minimum global atau ekstremum global. Kata global juga dapat diganti dengan dengan kata lokal jika ketaksamaan yang berlaku hanya dipenuhi oleh semua (x,y) yang berada pada $C \cap D$ dengan C adalah suatu cakram yang berpusat di (a,b) dan berjari-jari cukup kecil”.

Agar semua kemungkinan dapat diperoleh, maka diasumsikan bahwa daerah definisi tersebut tidak perlu terbuka. Seperti pada bilangan real, fungsi dua variabel

yang kontinu pada daerah tertutup dan terbatas akan mempunyai titik maksimum atau minimum global. Titik maksimum atau minimum ini dapat terjadi pada titik dalam atau titik batas. Untuk menganalisa maksimum dan minimum fungsi dua variabel, dapat digunakan analisa maksimum dan minimum fungsi satu variabel. Pertama, untuk mencari titik maksimum dan minimum global suatu fungsi dicari titik maksimum dan minimum lokalnya terlebih dahulu, karena mencari titik ekstremum lokal dapat dihitung dengan kalkulus.



Gambar 2.4 Titik maksimum dan minimum lokal dan global

Misalkan fungsi kontinu $f(x,y)$ mempunyai ekstremum lokal di titik dalam (a,b) , kemudian fungsi satu variabel $f(x,b)$ ini juga mempunyai ekstremum lokal di $x = a$, karena a titik dalam dari daerah definisi fungsi $f(x,y)$, turunan parsial f terhadap x di $x = a$ haruslah nol atau tidak ada. Dengan meninjau fungsi $f(a,y)$ didapatkan hal yang sama untuk turunan parsial f terhadap y . Tetapi sebaliknya, jika kedua turunan parsial

f sama dengan nol atau tidak mempunyai turunan di (a,b) , tidak berarti bahwa f mencapai maksimum atau minimum.

Definisi 2.2 Titik kritis.

“ Titik (a,b) disebut titik kritis fungsi $f(x,y)$ jika : $\frac{\partial f}{\partial x}(a,b) = \frac{\partial f}{\partial y}(a,b) = 0$

Jadi pada titik kritis yang mempunyai titik parsial, bidang singgungnya terhadap f sejajar bidang XOY ”.

Dalam pencarian titik maksimum dan minimum ini dilakukan dengan menggunakan turunan parsial kedua, sehingga titik kritis hanya dipakai untuk titik yang mempunyai turunan saja.

Definisi 2.3 Tes turunan kedua

“ misalkan $f(x,y)$ fungsi dua variabel yang mempunyai turunan ketiga yang kontinu.

Misalkan (a,b) merupakan titik kritis f , dan : $\Delta = f_{xx}(a,b) f_{yy}(a,b) - [f_{xy}(a,b)]^2$ disebut diskriminan fungsi f .

a. Jika $\Delta > 0$ dan :

i. $f_{xx}(a,b) > 0$, maka titik (a,b) merupakan titik minimum lokal.

ii. $f_{xx}(a,b) < 0$, maka titik (a,b) merupakan titik maksimum lokal.

b. Jika $\Delta < 0$, maka titik (a,b) merupakan titik pelana.

- c. Jika $\Delta = 0$, tes gagal perlu pengujian lebih lanjut, dan titik kritisnya disebut sebagai titik kritis trivial.

Untuk fungsi $f(a,y)$ dengan titik kritis (a,b) dapat dibentuk dengan matrik :

$$A = \begin{pmatrix} f_{xx}(x,y) & f_{xy}(x,y) \\ f_{yx}(x,y) & f_{yy}(x,y) \end{pmatrix} \text{ yang kemudian disebut sebagai matrik Hessian-nya.}$$

Definisi 2.4 Tes turunan kedua untuk fungsi n variabel.

“ misalkan $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ fungsi n variabel yang mempunyai turunan parsial kedua.

Misalkan pada $x_0 = (a_1, \dots, a_n)$ titik kritis fungsi f yaitu titik yang memenuhi syarat

persamaan : $\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0, \quad \frac{\partial f}{\partial x_2} = 0 \quad \dots, \quad \frac{\partial f}{\partial x_n} = 0$, kemudian **Matrik Hessian** fungsi f .

$$Hf(x) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{pmatrix} \text{ Yaitu matrik dengan } a_{ij} = D_{ij}^2 f(x).$$

Jika matriks Hessian $Hf(x_0)$ definit positif, maka x_0 titik minimum lokal, dan jika matrik Hessian $Hf(x_0)$ definit negatif, maka x_0 titik maksimum”.

Syarat bahwa $f_{xx}(a,b) > 0$ dan $\Delta = \det(A) > 0$ dapat disajikan sebagai satu syarat, yaitu bersifat definit positif. Hadi syarat agar titik kritis (a,b) merupakan titik minimum adalah A bersifat definit positif. Syarat untuk titik kritis (a,b) merupakan

titik maksimum adalah A bersifat definit negatif. Dalam hal $\det(A) \neq 0$ dan tidak definit, titik kritis (a,b) disebut sebagai titik pelana. Definisi titik kritis dapat dengan mudah diperluas untuk fungsi lebih dari dua variabel. Misalkan untuk fungsi $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ mempunyai turunan sebagai berikut :

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} = 0, \text{ selanjutnya untuk menyelidiki jenis titik kritis tersebut dapat}$$

digunakan tes turunan kedua. Tetapi, dengan turunan kedua dalam bentuk matrik.

2.5 Metode Conjugate Gradient

Proses optimasi dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, antara lain metode *conjugate gradient*, metode *genetic algorithms*, metode *second order*. Perancangan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *conjugate gradient*. Metode *conjugate gradient* dilakukan dengan minimisasi sebuah fungsi *non linier* $f(x)$ untuk semua nilai x ($x \in \mathbb{R}^n$), dengan x adalah n komponen vektor kolom. Hal ini dapat disebut sebagai permasalahan optimasi *non linier* tanpa kendala (*non-linier unconstrained optimization problem*).

Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan pendekatan standar yaitu dengan penjumlahan nilai perkiraan terhadap x_0 , yang selanjutnya pendekatan tersebut diiterasikan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$x^{k+1} = x^k + sd^k \quad \text{untuk } k = 0, 1, 2, \dots \quad 2.7$$



Sebelumnya harus ditentukan dulu harga skalar s dan vektor d^k , dimana vektor d^k dapat dicari secara langsung, sedangkan s diberikan sesuai dengan jumlah langkah iterasi yang dikehendaki. Untuk mencari harga d^k secara langsung, yang paling sederhana adalah dengan menggunakan vektor gradien negatif dari titik x^k . Untuk step iterasi yang cukup kecil dapat dilakukan dengan mereduksi nilai dari fungsi tersebut. Hal tersebut sesuai dengan :

$$x^{k+1} = x^k - s \nabla f(x^k) \quad f(x^k - s \nabla f(x^k)) \quad \text{untuk } k = 0, 1, 2, \dots \quad 2.8$$

$\nabla f(x) = (\partial f / \partial x_1, \partial f / \partial x_2, \dots, \partial f / \partial x_n)$ dan s adalah konstanta yang harganya kecil. Hal ini disebut sebagai *steepest descent algorithm*. Dalam pendekatan kalkulus, nilai minimum suatu fungsi didapatkan ketika gradiennya sama dengan nol. Dengan anggapan bahwa disana hanya terdapat satu nilai minimum lokal yang ditemukan dalam rentang yang telah ditentukan. Permasalahan yang dihadapi dengan menggunakan metode tersebut adalah, nilai reduksi dari fungsinya, step yang sangat kecil sehingga algoritmanya sangat lambat.

Cara lain untuk perkiraan tersebut adalah dengan memilih langkah yang memberikan nilai reduksi maksimum secara langsung terhadap nilai fungsi tersebut. Hal tersebut dapat didefinisikan :

$$f(x^k - s \nabla f(x^k)) \quad 2.9$$

untuk setiap k nilai s minimum. Langkah ini dikenal sebagai *line-search*. Meskipun demikian x^k hanya dapat diterapkan pada permasalahan minimisasi satu variabel saja, dengan ukuran step z . Dengan menggunakan metode numerik permasalahan tersebut dapat dengan mudah diselesaikan. Persamaan 2.8 dan 2.9 dapat menunjukkan bahwa algoritma tersebut masih berjalan dengan lambat. Hal tersebut dikarenakan letak pemilihan harga pada $\nabla f(x^k)$. Apabila persamaan 2.9 akan diminimasi, maka nilai s dapat ditentukan dari persamaan tersebut yang diturunkan terhadap s sesuai dengan persamaan dibawah ini :

$$\frac{df(x^k - s\nabla f(x^k))}{ds} = -(\nabla f(x^{k+1}))^T \nabla f(x^k) = 0 \quad 2.9$$

Pemilihan arah gradien dalam metode ini dilakukan secara *orthogonal*. Tetapi cara ini bukan merupakan cara yang terbaik untuk mendapatkan harga optimum jika terjadi perubahan arah gradien yang cukup besar.

Dalam pendekatan nilai optimasinya, metode *conjugate gradient* merupakan kombinasi dari arah gradien sebelumnya dengan arah yang gradien baru. Selain pada persamaan 2.9, pemilihan arah vektor gradient dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini :

$$d^k = -g^k + \beta g^{k-1} \quad 2.10$$

dengan $g^k = \nabla f(x^k)$, sehingga gerakan arah dari pencariannya adalah kombinasi dari gerakan gradien negatif ditambah skalar β pada setiap pencarian arah tersebut, yang



berarti bahwa $(d^k)^T A d^{k-l} = 0$, dengan A adalah matrik khusus. Nilai β sendiri dapat ditentukan dengan :

$$\beta = (g^k)^T g^k / (g^{k-l})^T g^{k-l} \quad 2.11$$

Dalam perancangan *Hot Mirror* ini fungsi f adalah fungsi R (reflektansi) dan fungsi T terhadap tebal masing-masing lapisan atau dapat dituliskan $R(d_1, d_2, \dots d_m)$ dan $T(d_1, d_2, \dots d_m)$. Berdasarkan pada persamaan 2.1 sampai 2.6, didapatkan persamaan derivative pertama dari R dan T yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial R}{\partial d_j} = \frac{\partial r}{\partial d_j} r^* + r \frac{\partial r^*}{\partial d_j} = 2 \operatorname{Re} \left(r^* \frac{\partial r}{\partial d_j} \right) \quad 2.12$$

$$\frac{\partial T}{\partial d_j} = 2 \frac{q_s}{q_a} \operatorname{Re} \left(t^* \frac{\partial t}{\partial d_j} \right)$$

Dengan persamaan derivativ orde pertama dari r, t, M dan masing-masing komponen matriknya pada setiap lapis adalah :

$$\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial d_j} &= -\frac{t^2}{2n_a} \left[n_a \frac{\partial m_{11}}{\partial d_j} + n_s \frac{\partial m_{22}}{\partial d_j} + n_a n_s \frac{\partial m_{12}}{\partial d_j} + \frac{\partial m_{21}}{\partial d_j} \right] \\ \frac{\partial r}{\partial d_j} &= -\frac{t^2}{2n_a} \left[n_a (1-r) \frac{\partial m_{11}}{\partial d_j} - n_s (1+r) \frac{\partial m_{22}}{\partial d_j} + n_a n_s (1-r) \frac{\partial m_{12}}{\partial d_j} - (1+r) \frac{\partial m_{21}}{\partial d_j} \right] \\ \frac{\partial M}{\partial d_j} &= \begin{pmatrix} \partial m_{11} / \partial n_j & \partial m_{12} / \partial n_j \\ \partial m_{21} / \partial n_j & \partial m_{22} / \partial n_j \end{pmatrix} \\ \frac{\partial m_{11}}{\partial d_j} &= -(kn_j) \sin(kn_j d_j) & \frac{\partial m_{12}}{\partial d_j} &= -\frac{i}{n_j} (kn_j) \cos(kn_j d_j) \\ \frac{\partial m_{22}}{\partial d_j} &= -(kn_j) \sin(kn_j d_j) & \frac{\partial m_{12}}{\partial d_j} &= -in_j (kn_j) \cos(kn_j d_j) \end{aligned} \quad 2.13$$

Persamaan derivativ orde pertama ini digunakan untuk menentukan harga minimum dan maksimum dari fungsi r , t seperti yang dimaksud pada Definisi 2.1 tentang nilai maksimum dan minimum. Apabila dari fungsi tersebut terdapat titik kritisnya, maka diperlukan persamaan derivatif orde keduanya untuk menentukan nilai maksimu dan minimum fungsi tersebut. Dengan menggunakan prinsip derivativ pada persamaan 2.14 dibawah ini, maka derivativ orde kedua dari fungsi r dan t juga dapat ditentukan.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[f \left(\frac{u(x)}{v(x)} \right) \right] = \frac{(\partial u / \partial x) \cdot v(x) - u(x) \cdot (\partial v / \partial x)}{(v(x))^2} \quad 2.14$$

Dibawah ini adalah persamaan derivativ orde kedua dari fungsi r dan t , yaitu :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 r}{\partial d_j^2} &= -\frac{1}{2n_a} \left\{ \frac{\partial t}{\partial d_j} \left[n_a(1-r) \frac{\partial m_{11}}{\partial d_j} - n_s(1+r) \frac{\partial m_{22}}{\partial d_j} + n_a n_s(1-r) \frac{\partial m_{12}}{\partial d_j} - (1+r) \frac{\partial m_{21}}{\partial d_j} \right] \right. \\ &\quad \frac{\partial r}{\partial d_j} \left[n_a \frac{\partial m_{11}}{\partial d_j} + n_s \frac{\partial m_{22}}{\partial d_j} + n_a n_s \frac{\partial m_{12}}{\partial d_j} + \frac{\partial m_{21}}{\partial d_j} \right] + \left[(1-r) \frac{\partial^2 m_{11}}{\partial d_j^2} - n_s(1+r) \frac{\partial^2 m_{22}}{\partial d_j^2} \right. \\ &\quad \left. \left. + n_a n_s(1-r) \frac{\partial^2 m_{12}}{\partial d_j^2} - (1+r) \frac{\partial^2 m_{21}}{\partial d_j^2} \right] \right\} \\ \frac{\partial^2 t}{\partial d_j^2} &= \frac{2}{t} \frac{\partial t}{\partial d_j} - \frac{t^2}{2n_a} \left[(1-r) \frac{\partial^2 m_{11}}{\partial d_j^2} - n_s(1+r) \frac{\partial^2 m_{22}}{\partial d_j^2} + n_a n_s(1-r) \frac{\partial^2 m_{12}}{\partial d_j^2} - (1+r) \frac{\partial^2 m_{21}}{\partial d_j^2} \right] \\ \frac{\partial^2 m_{11}}{\partial d_j^2} &= -(kn_j)^2 \cos(kn_j d_j) & \frac{\partial^2 m_{12}}{\partial d_j^2} &= -\frac{1}{n_j^2} (kn_j)^2 \sin(kn_j d_j) \\ \frac{\partial^2 m_{22}}{\partial d_j^2} &= -(kn_j)^2 \cos(kn_j d_j) & \frac{\partial^2 m_{21}}{\partial d_j^2} &= n_j^2 (kn_j)^2 \sin(kn_j d_j) \end{aligned} \quad 2.15$$

Dengan kedua persamaan derivativ 2.14 dan 2.15 diatas optimasi perancangan cermin panas dapat dilakukan dengan baik. (Lihat lampiran 1-8)

*... Aku selaras dengan sangkaan hamba-Ku
terhadap Aku dan bersama dengan hamba-
Ku ketika dia mengingatku...*

(Hadist Qudsi)

BAB III

METODOLOGI



BAB III

METODOLOGI

3.1 Pemilihan Bahan dan Metode Optimasi

Perancangan terhadap cermin panas didahului dengan pemilihan bahan lapis penyusunnya. Bahan yang digunakan ZnS ($n = 2,30$), MgF_2 ($n = 1,38$) dan kaca ($n = 1,52$) sebagai substratnya. Pemilihan bahan tersebut didasarkan karena mudah didapat tetapi tetap dengan mutu yang bagus, sehingga apabila suatu saat rancangan cermin panas ini diwujudkan dalam bentuk fabrikasi tidak terlalu sulit dalam pencarian bahan lapisnya.

Setelah bahan lapis cermin panas ditentukan, dilakukan pembelajaran terhadap beberapa teori optimasi. Dari beberapa teori yang telah ada, ditetapkan metode *conjugate gradient* sebagai metode optimasi dalam perancangan cermin panas ini. Cermin panas dirancang sebanyak 10, 20 dan 36 lapis, selain bertujuan untuk membandingkan karakteristik dari cermin panas apabila terdiri dari sedikit lapis dan banyak lapis, juga pertimbangan bahwa suatu saat dapat dilakukan fabrikasi dilaboratorium Fisika FMIPA, atau dengan kata lain disesuaikan dengan kemampuan alat yang ada.

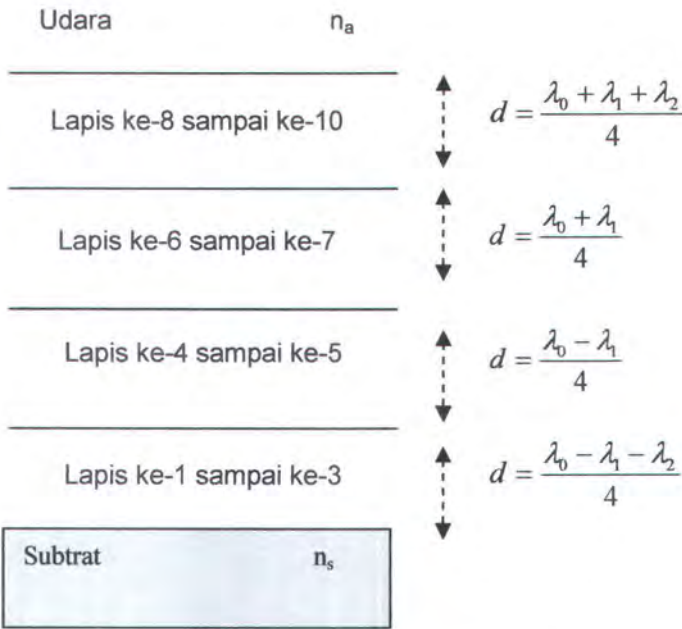
3.2 Perancangan dan Perhitungan

Perancangan cermin panas didahului dengan perancangan cermin panas standar (gambar 2.3.b). Cermin panas standar ini memiliki ketebalan masing-masing lapisnya sebesar $\frac{1}{4}$ panjang gelombang pusat ($\frac{1}{4} \lambda_0$), pada ketebalan ini

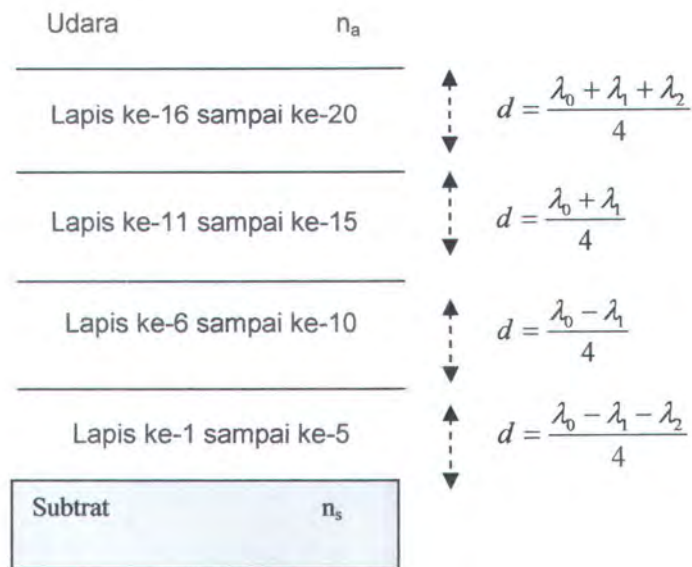


terjadi pusatsi pada cermin panas, sehingga harga tersebut selanjutnya dituliskan sebagai panjang gelombang pusat (λ_{pusat}). Keadaan ini memberikan harga R yang tertinggi diantara λ_{pusat} nya.

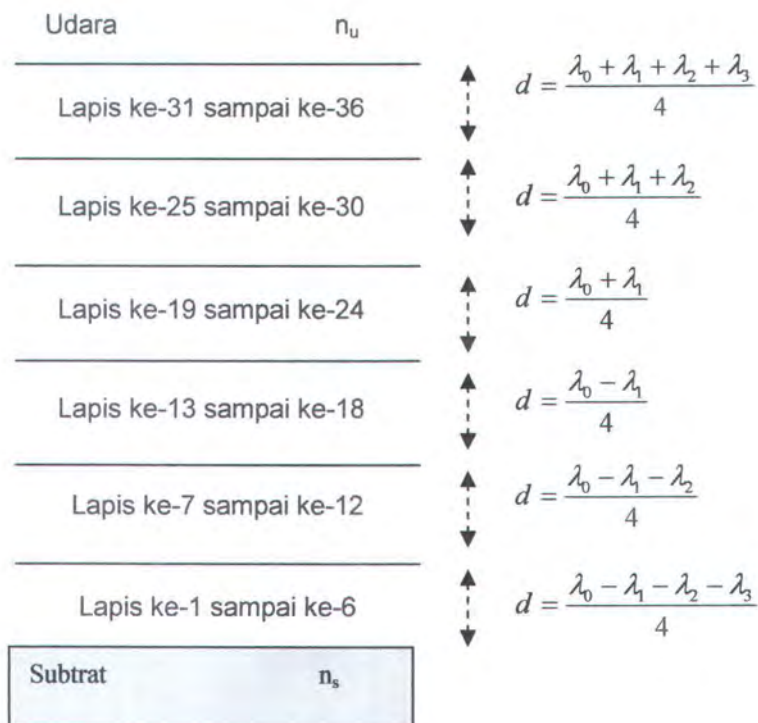
Untuk $\Sigma R(\lambda)$ yang tinggi dilakukan dengan variasi tebal lapis penyusunnya. Optimasi terhadap R adalah salah satu cara untuk mendapatkan harga variasi tebal tersebut. Untuk mendapatkan nilai suatu fungsi yang optimasi, terlebih dahulu ditentukan harga tebakan awal variabelnya. fungsi tersebut adalah $R(d)$. Tebakan awal d harus ditentukan terlebih dahulu untuk mendapatkan d_{optimasi} . Tebakan ini dilakukan dengan metode *Trial and Error* pergeseran λ_{pusat} dalam skala 50-500 nm dengan step pergeseran 25 nm. Dibawah ini adalah arah pergeseran dari perancangan cermin panas 10, 20 dan 36 lapis.



Gambar 3.1 Gambar arah pergeseran λ_p dari cermin panas 10 lapis dengan $\Delta\lambda_{p1} = 200$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm step $\Delta\lambda_p = 25$ nm, pada $\lambda = 800-2000$ nm, $\lambda_0 = 1300$ nm dan $\Delta\lambda = 10$ nm

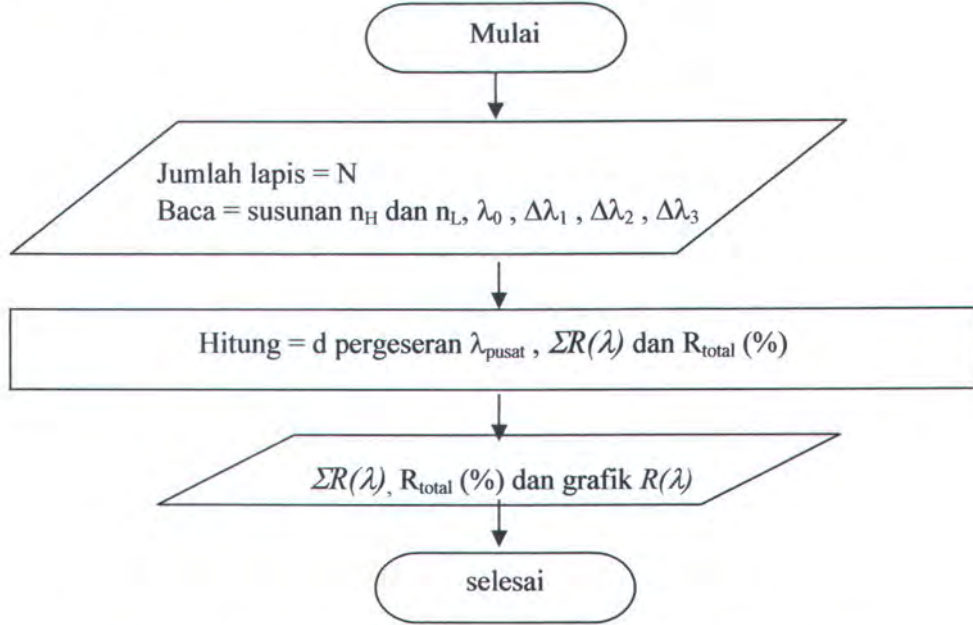


Gambar 3.2 Gambar arah pergeseran λ_p dari cermin panas 20 lapis dengan $\Delta\lambda_{p1} = 125$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 375$ nm, step $\Delta\lambda_p = 25$ nm, pada $\lambda = 800$ -2000 nm, $\lambda_0 = 1300$ nm dan $\Delta\lambda = 10$ nm



Gambar 3.3 Gambar arah pergeseran λ_p dari cermin panas 20 lapis dengan $\Delta\lambda_{p1} = 100$ nm, $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm, $\Delta\lambda_{p3} = 300$ nm, step $\Delta\lambda_p = 25$ nm, pada $\lambda = 800$ -2000 nm, $\lambda_0 = 1300$ nm dan $\Delta\lambda = 10$ nm

Dibawah ini adalah diagram alir untuk mencari $\Sigma R(\lambda)$ maksimum dengan pergeseran λ_{pusat} dan $\Sigma R(\lambda)$ maksimum dengan optimasi :



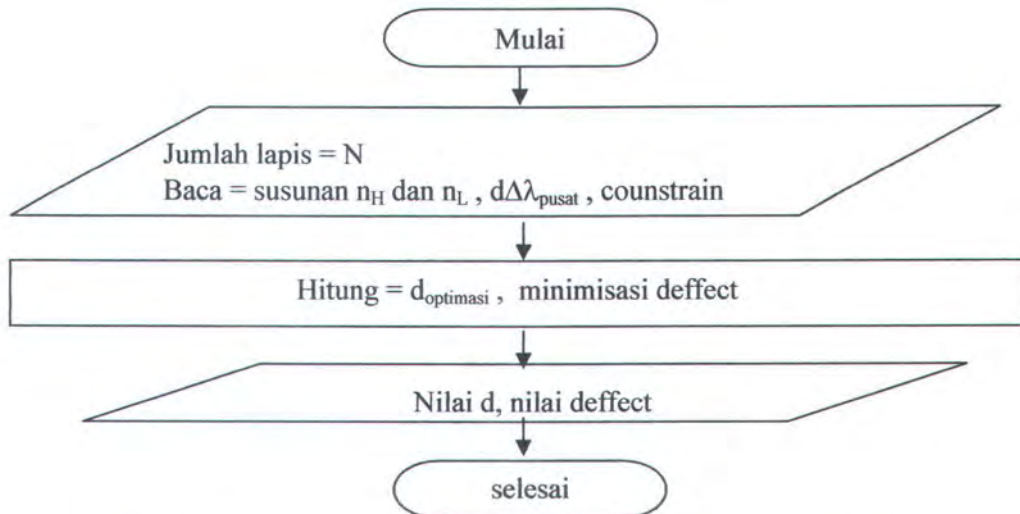
Gambar 3.4 Diagram alir perhitungan $\Sigma R(\lambda)$, $R_{Total} (\%)$ dan grafik $R(\lambda)$ pada $\lambda = 800-2000$ nm, $\Delta\lambda = 1$ nm. Jumlah lapis (N) input bergantian 10, 20 atau 36 lapis. Susunan indeks bias (n) yang digunakan n_L untuk lapis genap, dan n_H untuk lapis ganjil (Gambar 2..b). $\lambda_0 = 1300$ nm, $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3 =$ pergeser λ_{pusat} sebesar 50-500 nm dengan step 25 nm. d pergeseran λ_{pusat} dihitung sesuai gambar 3.1-3.3.

Dalam hal ini perhitungan R total dilakukan dengan persamaan :

$$\sum R(\lambda) = \int_{\lambda=800}^{\lambda=2000} R(\lambda) d\lambda ,$$

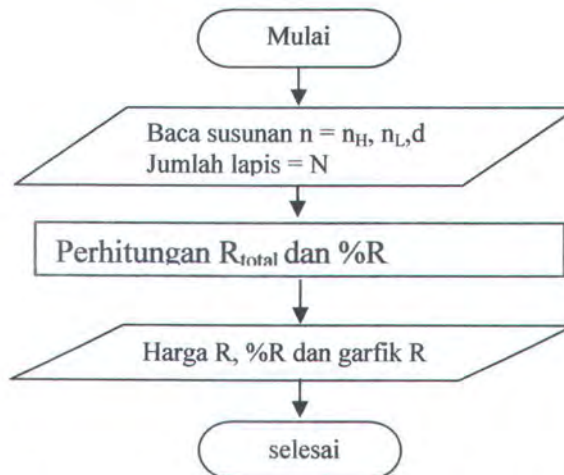
$$R_{Total} (\%) = \frac{\int_{\lambda=800}^{\lambda=2000} R(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=800}^{\lambda=2000} d\lambda} \times 100 \% \quad 3.1$$

Didapatkan harga $\Sigma R(\lambda)$ maksimum, $R_{Total} (\%)$ dengan $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3$ tertentu dan grafik $R(\lambda)$.



Gambar 3.5 Diagram alir perhitungan tebal lapis untuk R maksimum pada panjang gelombang 800-200 nm, batas nilai tebal lapis (Constrain) = $10 \text{ nm} < d < 1300 \text{ nm}$, $d\Delta\lambda_{\text{pusat}}$ adalah tebakan awal d_{optimasi} . Metode optimasi adalah *conjugate gradient* yang meminimisasi nilai *Defect Function* $f(D) = 1201 - \Sigma R(\lambda)$. Didapatkan harga d yang membuat $\Sigma R(\lambda)$ maksimum dan $f(D)$ minimum.

Setelah harga d (tebal lapis) untuk R maksimum pada panjang gelombang 800-2000 nm didapatkan, maka harga d tersebut digunakan untuk menghitung Reflektansi dari cermin panas, yang sesuai dengan diagram alir berikut :



Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{\text{Total}} (\%)$ pada $\lambda = 800-200 \text{ nm}$

Dengan demikian didapatkan $\Sigma R(\lambda)$, $R_{\text{Total}} (\%)$ yang maksimal dengan d yang telah dioptimasi.

... tak ada jalan mewah menuju apapun. Satu persatu, segalanya berbaris. Yang cepat tumbuhnya juga cepat layunya, yang tumbuh perlahan, bertahan ...

(J.G. Holland)

BAB IV

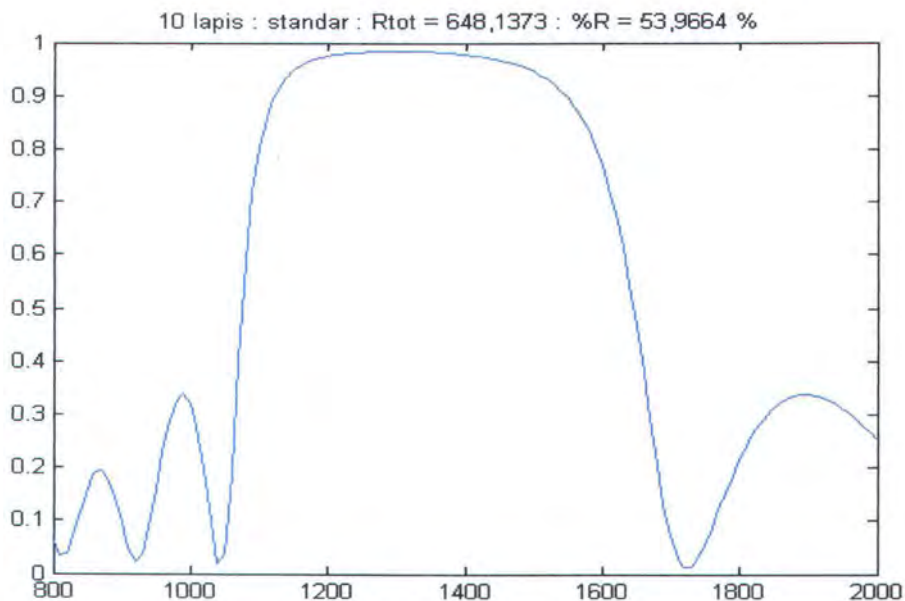
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Cermin Panas 10 Lapis

Perancangan cermin 10 lapis didahului dengan perancangan terhadap cermin panas standar 10 lapis. Perancangan cermin panas standar tersebut memberikan hasil Reflektansi seperti pada gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Grafik Reflektansi (R) terhadap λ dari cermin panas standar 10 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm dengan $\Delta\lambda=1$ nm

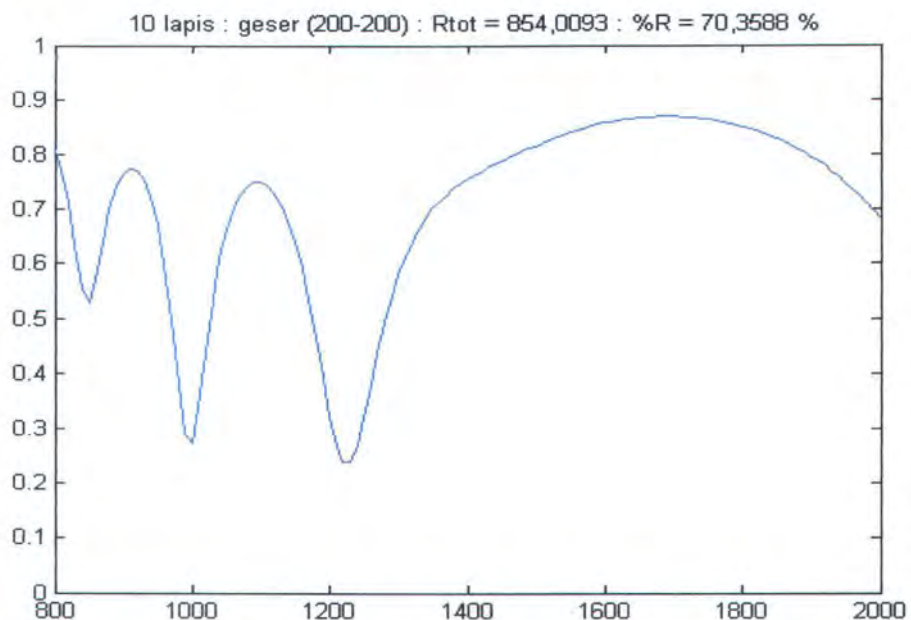
Dari gambar 4.1 diatas didapatkan harga $\Sigma R(\lambda)$ (Reflektansi total) sebesar 648,1373. Jika dilihat dari grafik tersebut, maka untuk $\Sigma R(\lambda)$ maksimum (100 %) dengan $\Delta\lambda=1$ nm sebesar 1201, sehingga prosentase R pada cermin panas standar 10 lapis ini sebesar 53,9664 %. Dengan demikian cermin panas standar 10 lapis

tersebut dapat digunakan secara maksimal hanya pada $\lambda = 1100\text{-}1600\text{ nm}$ yang menghasilkan $\Sigma R(\lambda) = 486,071$ dan $R_{Total} (\%) = 97,0201\%$. Meskipun prosentase R yang dihasilkan sangat besar, tapi hal tersebut kurang menguntungkan apabila dilihat dari segi besarnya daerah pantulan yang hanya sebesar 500 nm dengan $\Sigma R(\lambda) = 501$ untuk $R_{Total} (\%) = 100\%$, yang seharusnya daerah infra merah sebesar 1200 nm , $\Sigma R(\lambda) = 1201$ untuk $R_{Total} (\%) = 100\%$.

Pada dasarnya perancangan ini dilakukan untuk mendapatkan harga $\Sigma R(\lambda)$ yang maksimum pada daerah infra merah. Oleh karena itu dilakukan optimasi pada rancangan tersebut. Dalam optimasi sebuah fungsi, misalnya $f(x)$, sebelumnya harus ditentukan dahulu tebakan awal nilai x , dalam hal ini adalah tebal lapis (d). Nilai tebakan awal d , dapat ditentukan dengan sembarang nilai d dalam rentang $10\text{-}1300\text{ nm}$ (batas tebal lapisan). Meskipun tebakan awal tersebut dapat ditentukan dengan sembarang nilai dan cara, lebih baik lagi jika nilai tebakan awal d ditentukan dengan harga d yang benar-benar mendekati nilai d pada $\Sigma R(\lambda)$ maksimumnya (d_{optimasi}), hal ini dimaksudkan agar dalam proses optimasi dan iterasi pencarian nilai d nya tidak terlalu lama.

Untuk mendapatkan harga tebakan awal d yang mendekati d_{optimasi} , dapat digunakan perhitungan cermin panas 10 lapis dengan pergeseran panjang gelombang pusatnya ($\Delta\lambda_{\text{pusat}}$, $\lambda_{\text{pusat}} = 1300\text{ nm}$), yang selanjutnya $\Delta\lambda_{\text{pusat}}$ dan λ_{pusat} ditulis dalam $\Delta\lambda_p$ dan λ_p . Pergeseran tersebut dilakukan dengan cara *Trial and Error* (Bustomi dkk, 2002), meskipun dengan cara *Trial and Error*, arah pergeseran λ_p tetap ditentukan. Pada cermin panas 10 lapis ini arah pergeseran

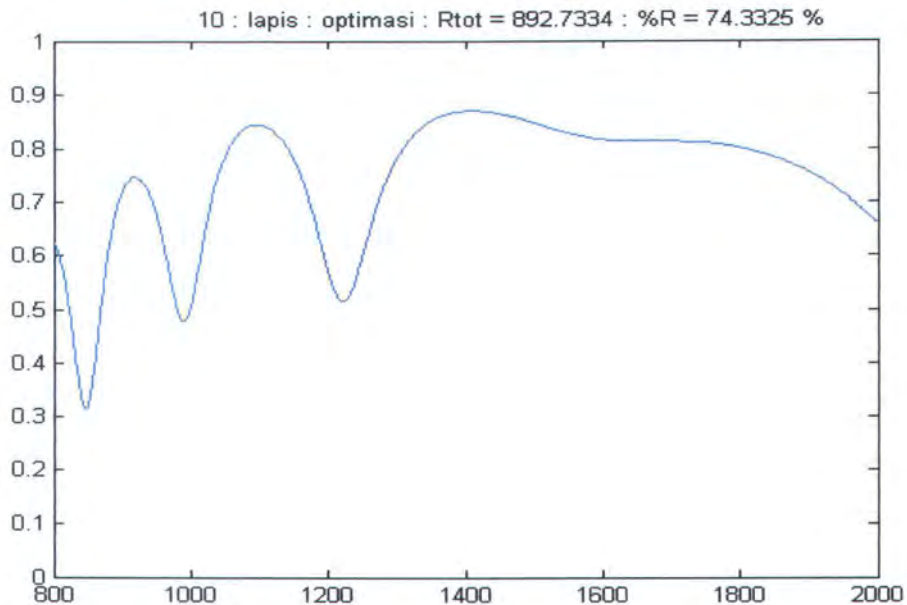
dapat dilihat pada gambar 3.1. Besarnya $\Delta\lambda_p$ juga bisa sembarang, tetapi dibatasi antara 50-500 nm dengan step sebesar 25 nm. Dari beberapa pergeseran λ_p yang dilakukan, didapatkan $\Sigma R(\lambda)$ sebesar 845,0093 dan $R_{Total} (\%) = 70,3588 \%$ pada $\Delta\lambda_{p1} = 200$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm. Terjadi kenaikan $\Sigma R(\lambda)$ sebesar 16,3924 % (gambar 4.2). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa cermin panas 10 lapis dapat digunakan secara maksimal pada rentang panjang gelombang infra merah. Meskipun pada titik di sekitar $\lambda = 1000$ nm dan $\lambda = 1210$ nm harga R nya lebih kecil dibanding dengan titik-titik yang lain



Gambar 4.2 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 10 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} sebesar $\Delta\lambda_{p1} = 200$ nm dan $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm, pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm

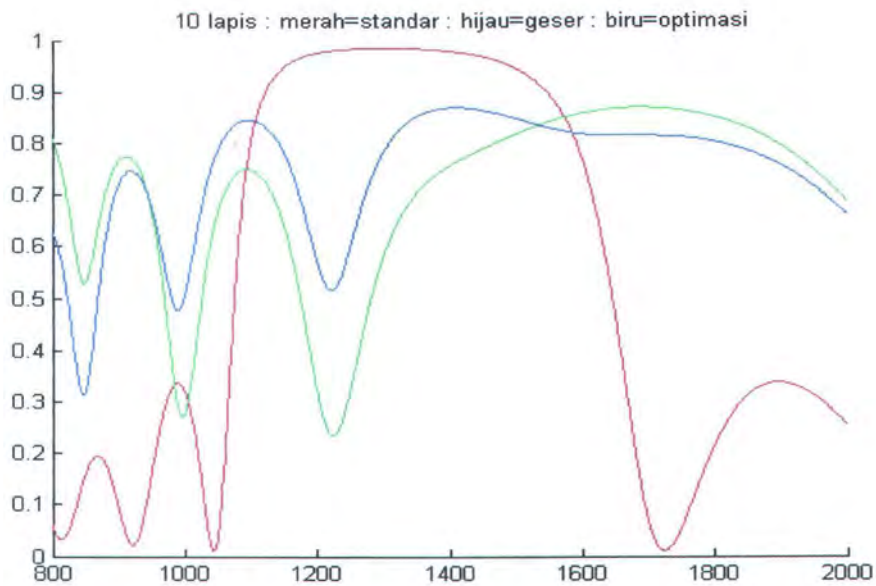
Harga d yang didapatkan dari pergeseran λ_p pada cermin panas 10 lapis (tabel 4.2) merupakan nilai tebakan awal d untuk $d_{optimasi}$. Pada optimasi tersebut didapatkan $\Sigma R(\lambda) = 892,7334$ dan $R_{Total} (\%) = 74,3325 \%$. dengan demikian R_{Total}

(%) cermin panas 01 lapis mengalami kenaikan sebesar 20,3661 % dari keadaan standar, dan ΔR_{Total} (%) sebesar 3,9737 dari keadaan pergeseran λ_{pusat} .



Gambar 4.3 Grafik Reflektansi (R) terhadap λ dari optimasi rancangan cermin panas 10 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm dan $\Delta\lambda=10$ nm

Pada gambar 4.3 harga R lebih kecil (sekitar $\lambda = 1000$ nm dan $\lambda = 1220$ nm) jika dibandingkan dengan R pada λ yang lain, setelah dilakukan optimasi harga R tersebut berubah mengalami kenaikan (gambar 4.4). Meskipun pada daerah sekitar $\lambda = 840$ nm harga R nya mengalami penurunan, tetapi secara garis besar $\Sigma R(\lambda)$ pada cermin 10 lapis yang telah dioptimasi jauh lebih baik dari cermin panas standar ataupun yang mengalami $\Delta\lambda_p$. Ketiga proses perancangan cermin panas 10 lapis dapat digambarkan secara keseluruhan seperti pada gambar 4.5



Gambar 4.4 Grafik Reflektansi $R(\lambda)$ rancangan cermin panas 10 lapis standar, pergeseran λ_p dan optimasi pada $\lambda=800-2000$ nm dan $\Delta\lambda=1$ nm

Dibawah ini adalah tabel $\Sigma R(\lambda)$, R_{Total} (%) dan d dari cermin panas 10 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} , optimasi.

Tabel 4.1 Harga $\Sigma R(\lambda)$ dan R_{Total} (%) dari cermin panas 10 lapis standar dan optimasi

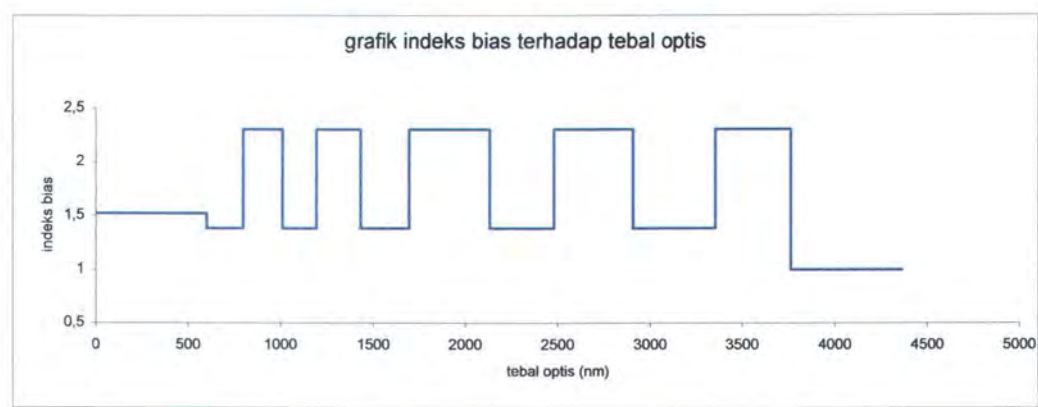
No	Cemin panas	$\Sigma R(\lambda)$	% R_{total}
1	Standar	648,1373	53,9664
2	Pergeseran λ_0	8450,093	70,3588
3	Optimasi	8927,334	74,3325

Tabel 4.2 Harga tebal masing-masing lapis dari cermin panas 10 lapis standar dan optimasi

Lapis ke	Tebal Optis lapis (d) dalam nm		
	Standar	Pergeseran λ_{pusat}	Optimasi
1	325	425	424,9617
2	325	425	426,2982
3	325	425	425,5922
4	325	375	375,1540
5	325	375	374,6301

6	325	275	274,8193
7	325	275	274,8826
8	325	225	225,0081
9	325	225	225,0507
10	325	225	224,9046

Dari tabel 4.2, untuk cermin yang telah dioptimasi dapat dibuat diagram distribusi indeks bias lapis terhadap tebal optis.

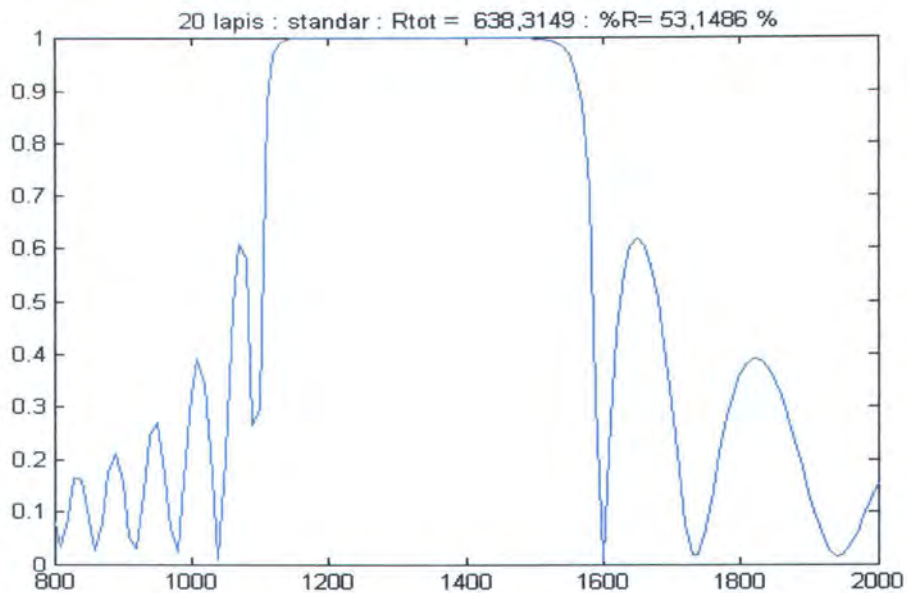


Gambar 4.5 Diagram distribusi indeks bias terhadap tebal optis dari cermin panas 10 lapis.

4.2 Cermin Panas 20 lapis

Proses perancangan cermin panas 20 lapis juga dilakukan dengan menghitung cermin panas standar 20 lapis dahulu. Perancangan tersebut memberikan hasil $\Sigma R(\lambda)$ sebesar 638,3149 dan $R_{Total} (\%) = 53,1486 \%$ (gambar 4.7). Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa cermin panas standar 20 lapis akan sangat efektif penggunaannya pada rentang panjang gelombang 1100-1600 nm. Pada rentang panjang gelombang tersebut, cermin panas standar 20 lapis memiliki $\Sigma R(\lambda)$ sebesar 488,8456 dan $R_{Total} (\%) = 97,5740 \%$. Seperti yang telah dituliskan

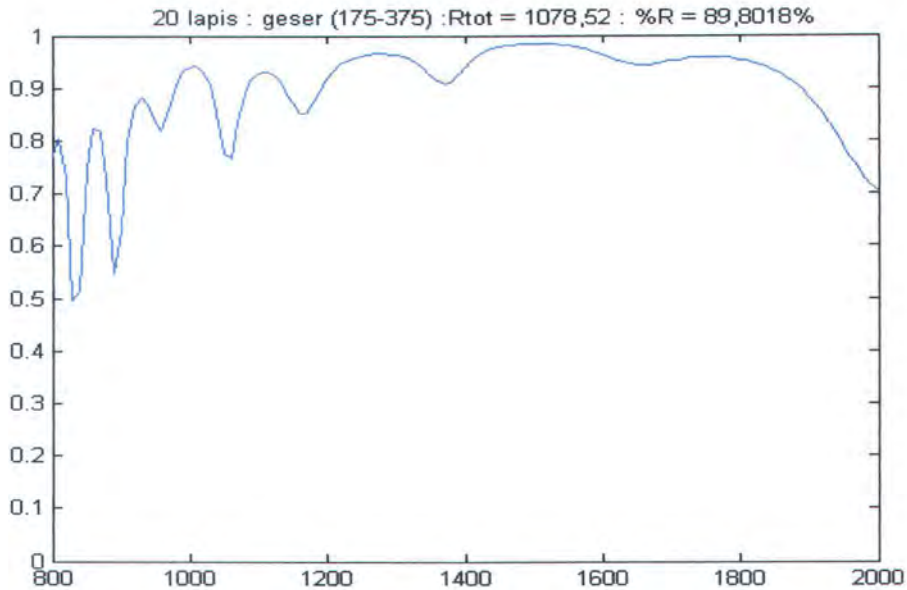
diatas bahwa daerah infra merah sebesar 1200 nm, sehingga % R yang dimiliki sebesar 97,5740 %, tetap saja dianggap kurang baik, karena rentang panjang gelombang yang dimilikinya hanya sebesar 500 nm dari yang seharusnya 1200 nm.



Gambar 4.6 Grafik Reflektansi (R) terhadap λ dari cermin panas standar 20 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm dan $\Delta\lambda=10$ nm

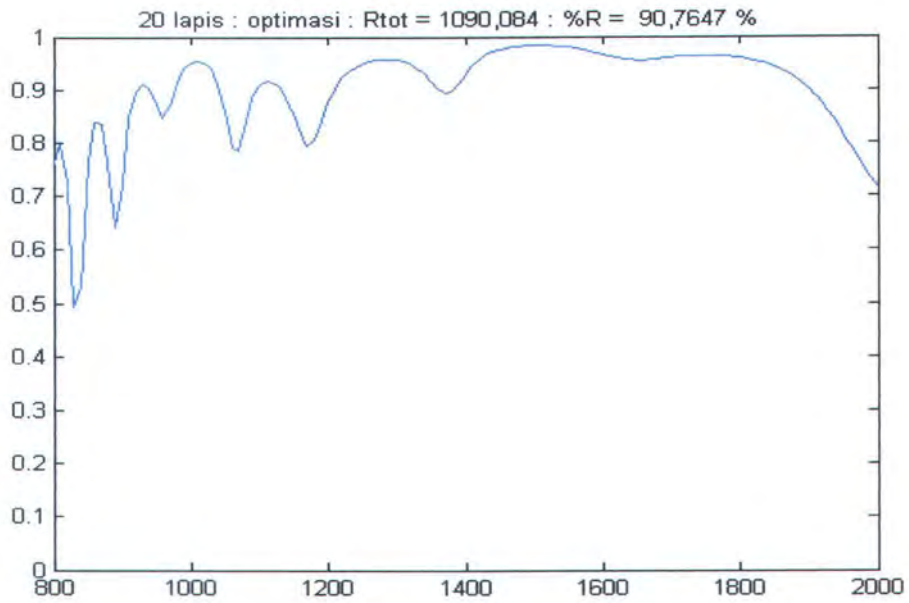
Proses perancangan dilanjutkan pada cermin panas 20 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} nya. Setelah dilakukan beberapa kali pergeseran terhadap λ_{pusat} didapatkan harga $\Delta\lambda_{\text{pusat}}$ sebesar $\Delta\lambda_{r1} = 125$ nm dan $\Delta\lambda_{r2} = 375$ nm, arah pergeseran dapat dilihat pada gambar 3.2. Pada rancangan tersebut menghasilkan $\Sigma R(\lambda)$ sebesar 1078,6 dan $R_{\text{Total}} (\%) = 89,8018$ % (gambar 4.8). Dari gambar 4.8 jelas bahwa cermin panas 20 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} , lebih baik dan lebih maksimal digunakan untuk daerah infra merah jika dibandingkan dengan cermin standar 20 lapis, meskipun pada daerah sekitar $\lambda = 830$ nm dan $\lambda = 890$ nm memiliki R yang lebih kecil jika dibandingkan R pada λ yang lain. Tetapi dengan

adanya kenaikan $R_{Total} (\%)$ dari 53,1486 % menjadi 89,8018 % atau $\Delta R_{Total} (\%) = 36,6532 \%$ menjadikan cermin panas 20 lapis tersebut sangat baik untuk ukuran cermin panas 20 lapis.



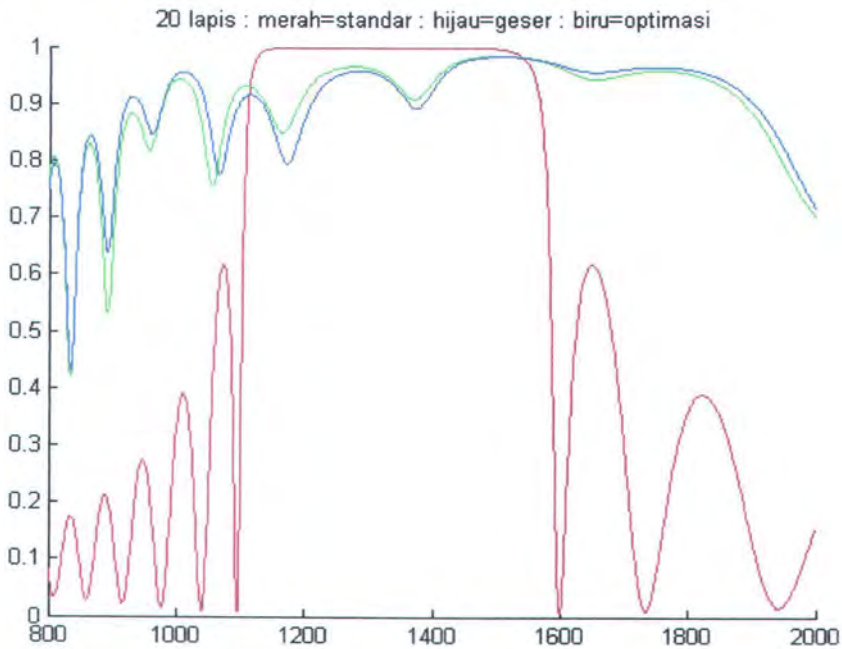
Gambar 4.7 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 20 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} sebesar $\Delta\lambda_{p1} = 125 \text{ nm}$ dan $\Delta\lambda_{p2} = 375 \text{ nm}$, pada $\lambda=800\text{-}2000 \text{ nm}$ $\Delta\lambda=10 \text{ nm}$

Dengan demikian telah didapatkan harga tebakan awal d untuk cermin panas 20 lapis, sehingga optimasi terhadap rancangan cermin panas 20 lapis dapat dilakukan. Optimasi tersebut menghasilkan $\Sigma R(\lambda) = 1083,8$ dan $R_{Total} (\%) = 90,2415 \%$ (gambar 4.9), dengan demikian perubahan harga $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{Total} (\%)$ yang terjadi tidak terlalu besar jika dibandingkan $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{Total} (\%)$ yang dimiliki oleh cermin panas 20 lapis dengan pergeseran λ_p . Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan harga tebakan awal $d_{optimasi}$ pada cermin panas 20 lapis adalah tepat.



Gambar 4.8 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas optimasi 20 lapis pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm

Perubahan harga R dari ketiga rancangan cermin panas 20 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} dan optimasi dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.9 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 20 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} dan optimasi pada $\lambda=800-2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm

Dibawah ini adalah tabel $\Sigma R(\lambda)$, R_{Total} (%) dan d dari cermin panas 20 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} , optimasi.

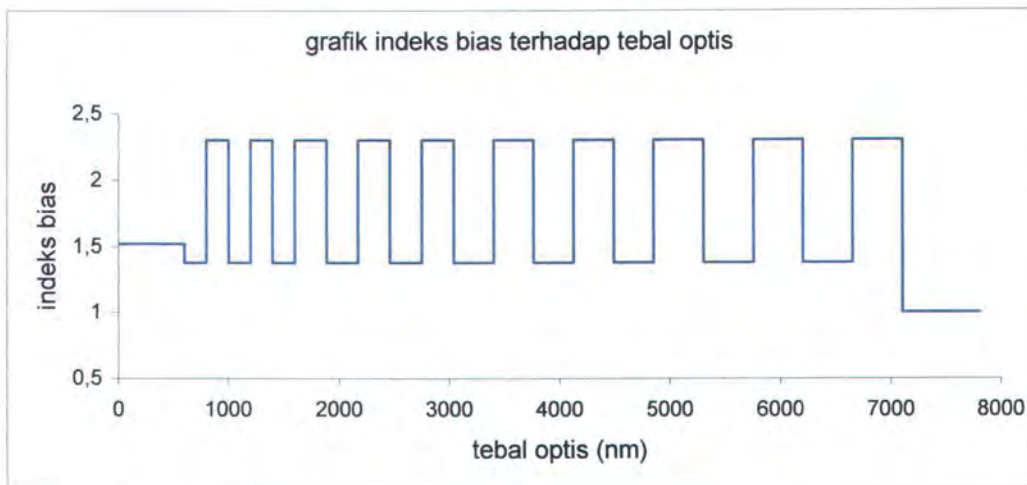
Tabel 4.3 Harga $\Sigma R(\lambda)$ dan R_{Total} (%) dari cermin panas 20 lapis standar dan optimasi

No	Cemin panas	$\Sigma R(\lambda)$	% R
1	Standar	638,3149	53,1486
2	Pergeseran λ_{pusat}	107,86	89,8085
3	Optimasi	108,38	90,2415

Tabel 4.4 Harga tebal masing-masing lapis dari cermin panas 20 lapis standar dan optimasi

Lapis ke	Tebal Optis lapis (d) dalam nm		
	Standar	Pergeseran λ_{pusat}	Optimasi
1	325	450	450,4354
2	325	450	449,9974
3	325	450	449,9915
4	325	450	451,9730
5	325	450	450,4582
6	325	356,25	362,6144
7	325	356,25	362,6001
8	325	356,25	362,5032
9	325	356,25	363,1658
10	325	356,25	362,9987
11	325	293,75	288,4219
12	325	293,75	288,1115
13	325	293,75	286,9913
14	325	293,75	287,7608
15	325	293,75	287,5092
16	325	200	200,1621
17	325	200	200,4465
18	325	200	199,9930
19	325	200	200,9079
20	325	200	200,3155

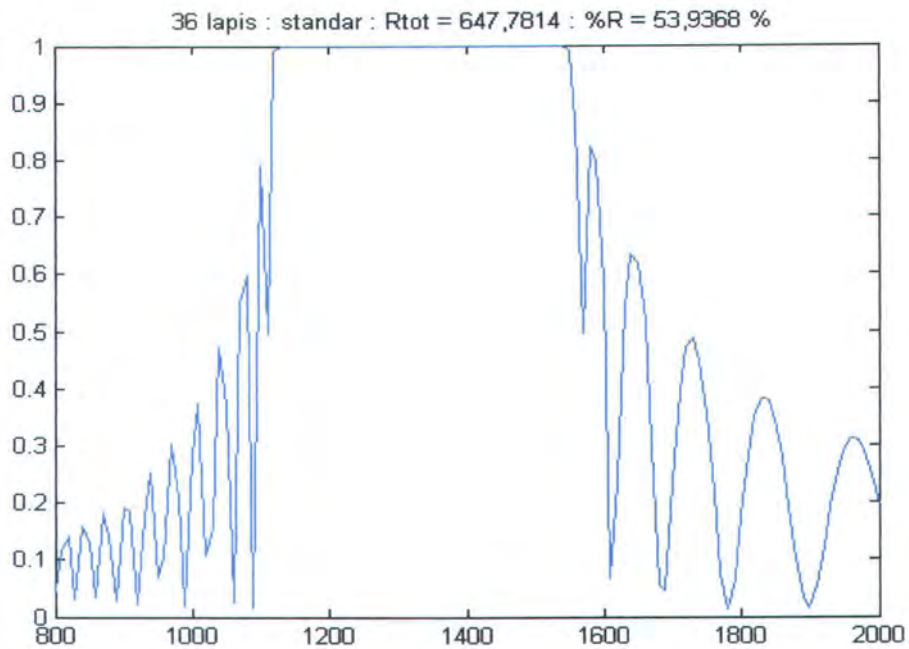
Dibawah ini adalah diagram distribusi indeks bias lapis terhadap tebal optis dan distribusi tebal matrik lapis terhadap tebal matrik total lapisan cermin panas 20 lapis yang telah dioptimasi.



Gambar 4.10 Diagram distribusi indeks bias terhadap tebal optis dari cermin panas 20 lapis.

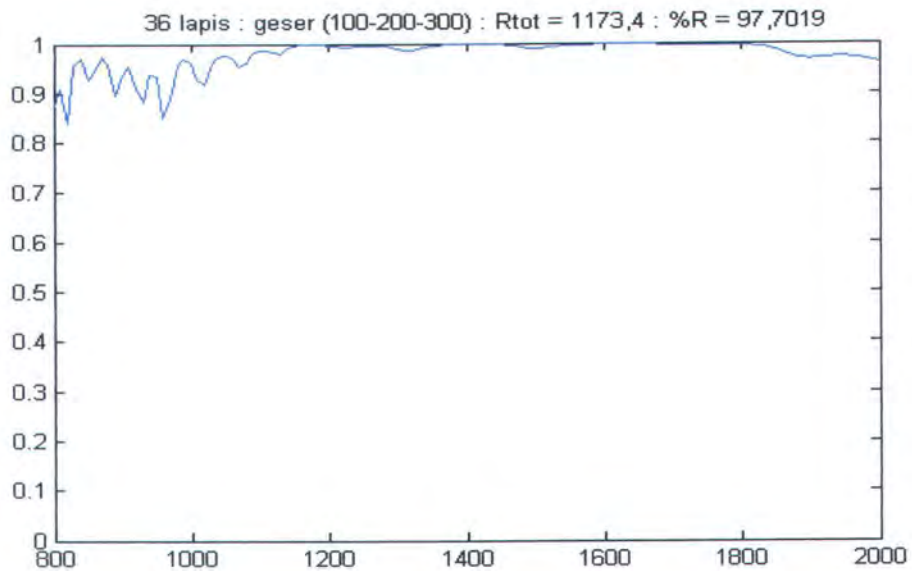
4.3 Cermin Panas 36 lapis

Pada perancangan cermin panas 36 lapis, untuk rancangan cermin panas yang standar didapatkan harga $\Sigma R(\lambda) = 647,7814$ dan $R_{Total} (\%) = 53,9368 \%$ (gambar 4.12). Cermin panas standar 36 lapis ini, memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan cermin standar 10 lapis dan 20 lapis. Cermin panas standar 36 lapis ini hanya dapat digunakan secara maksimal untuk $\lambda = 1120-1560$ nm (lampiran) atau rentang panjang gelombang 450 nm dalam daerah infra merah, dengan besar $\Sigma R(\lambda) = 449,1412$ dan $R_{Total} (\%) = 99,5878 \%$. Jadi untuk keseluruhan daerah infra merah cermin tersebut masih belum dapat maksimal dalam penggunaanya.



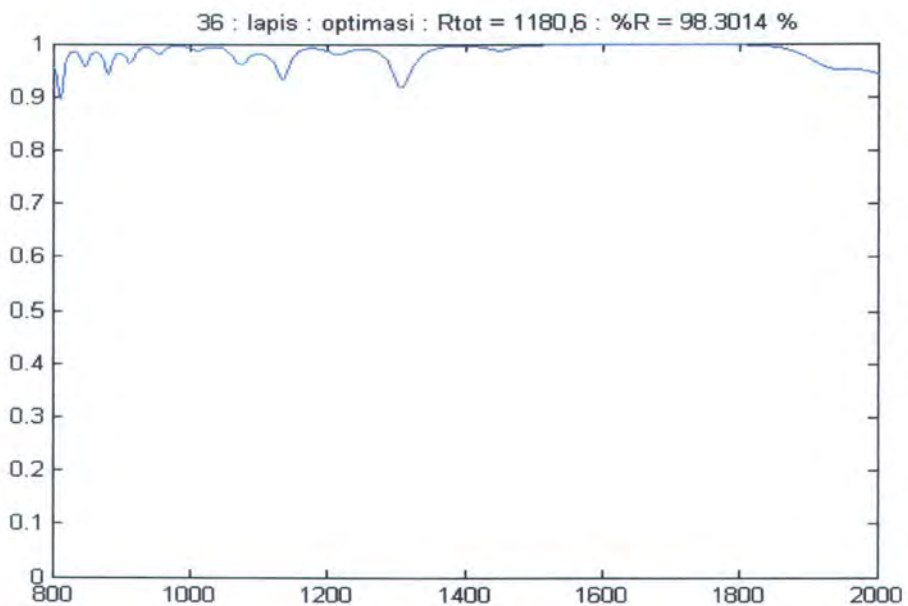
Gambar 4.11 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas standar 36 lapis pada $\lambda=800\text{-}2000\text{ nm}$, $\Delta\lambda=1\text{ nm}$

Agar cermin tersebut dapat berfungsi secara maksimal pada daerah infra merah, proses perancangan cermin panas 36 lapis dilanjutkan dengan perancangan yang menggeser λ_{pusat} nya. Setelah beberapa pergeseran telah dilakukan, maka didapat pergeseran sebesar $\Delta\lambda_{p1} = 100\text{ nm}$, $\Delta\lambda_{p2} = 200\text{ nm}$ dan $\Delta\lambda_{p3} = 300\text{ nm}$ memberikan $\Sigma R(\lambda)$ yang maksimal bahkan hampir mendekati 100 % (gambar 4.13), yaitu sebesar 1173,4 dan $R_{\text{Total}}(\%) = 97,7019\%$. Dengan demikian terjadi peningkatan $R_{\text{Total}}(\%)$ sebesar 43,7651 %, sehingga cermin tersebut sangat efektif pada daerah infra merah.



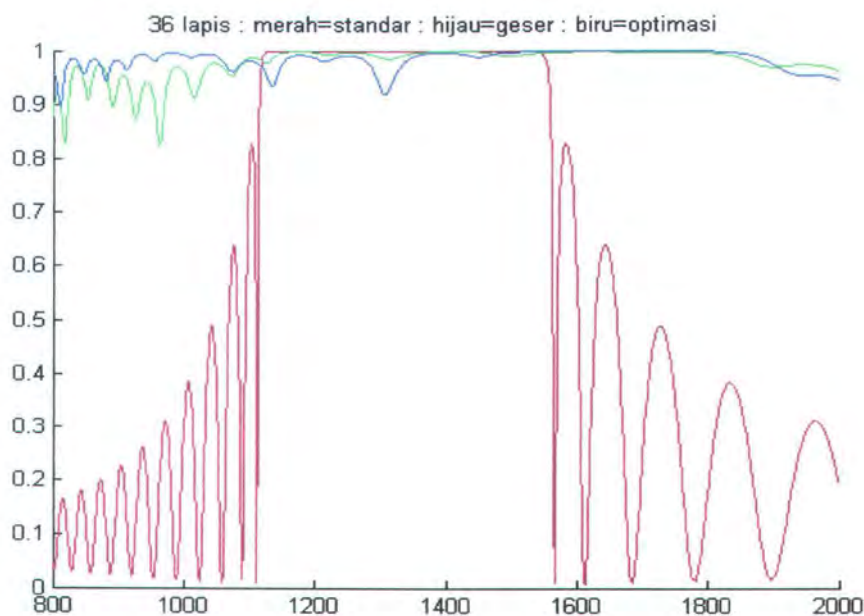
Gambar 4.12 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 36 lapis dengan pergeseran λ_{pusat} sebesar $\Delta\lambda_{p1} = 100$ nm, $\Delta\lambda_{p2} = 200$ nm dan $\Delta\lambda_{p3} = 300$ nm, pada $\lambda=800\text{-}2000$ nm $\Delta\lambda=1$ nm

Dari perancangan diatas didapatkan harga d tertentu yang nantinya diambil sebagai nilai tebakan awal d_{optimasi} . Setelah optimasi dilakukan maka didapatkan $\Sigma R(\lambda) = 1180,6$ dengan $R_{\text{Total}} (\%) = 98,3014$ % (gambar 4.14).



Gambar 4.13 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas optimasi 36 lapis pada $\lambda=800\text{-}2000$ nm $\Delta\lambda=10$ nm

Jika dibandingkan dengan $R_{Total} (\%)$ cermin panas pergeseran λ_{pusat} , maka perubahan $R_{Total} (\%)$ tersebut sangat sedikit, yaitu sebesar 0,5995 %. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan harga tebakan awal d untuk dioptimasi memang mendekati $d_{optimasi}$, sehingga perubahan $R_{Total} (\%)$ nya tidak terlalu banyak. Perubahan harga R dari ketiga rancangan cermin panas 36 lapis, dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.14 Grafik $R(\lambda)$ dari cermin panas 36 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} dan optimasi pada $\lambda=800-2000 \text{ nm}$ $\Delta\lambda=10 \text{ nm}$

Dibawah ini adalah tabel $\Sigma R(\lambda)$, $R_{Total} (\%)$ dan d dari cermin panas 36 lapis standar, pergeseran λ_{pusat} , optimasi.

Tabel 4.5 Harga $\Sigma R(\lambda)$ dan $R_{Total} (\%)$ dari cermin panas 36 lapis standar dan optimasi

No	Cemin panas	$\Sigma R(\lambda)$	% R
1	Standar	647,7814	53,9368
2	Pergeseran λ_{pusat}	117,34	97,7019
3	Optimasi	118,06	98,3014

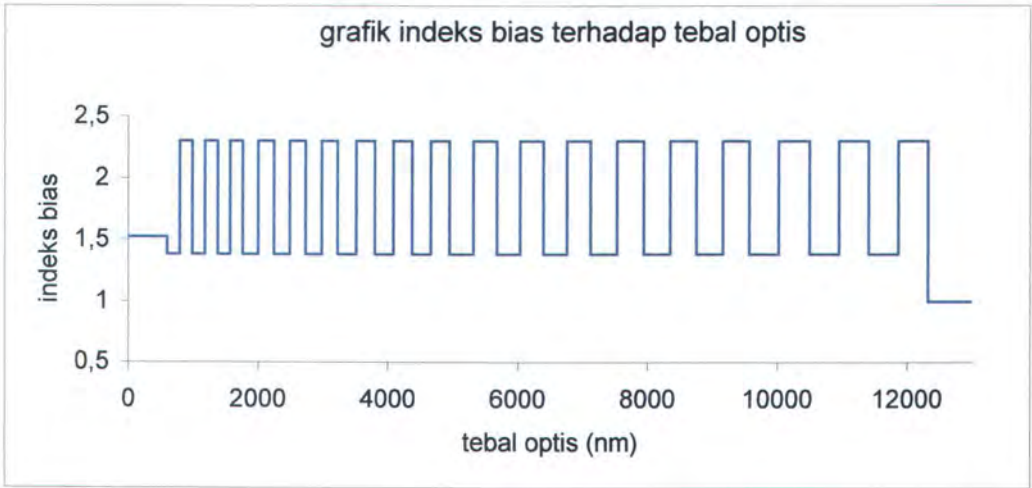
Tabel 4.6 Harga tebal masing-masing lapis dari cermin panas 36 lapis standar dan optimasi

Lapis ke	Tebal Optis lapis (d) dalam nm		
	Standar	Pergeseran λ_{pusat}	Optimasi
1	325	475	455,9998
2	325	475	456,2606
3	325	475	456,2500
4	325	475	457,0503
5	325	475	456,2500
6	325	475	457,0000
7	325	400	405,9998
8	325	400	406,2501
9	325	400	406,3005
10	325	400	408,0001
11	325	400	407,0002
12	325	400	406,2500
13	325	350	363,0009
14	325	350	362,5100
15	325	350	362,4900
16	325	350	362,5400
17	325	350	362,6000
18	325	350	362,5201
19	325	300	287,5600
20	325	300	290,0000
21	325	300	286,9999
22	325	300	287,4909
23	325	300	287,5000
24	325	300	288,0000
25	325	250	244,0009
26	325	250	243,8001
27	325	250	243,5600
28	325	250	243,8729
29	325	250	244,0009



30	325	250	243,7508
31	325	175	193,7600
32	325	175	193,7500
33	325	175	194,0000
34	325	175	193,7602
35	325	175	193,7500
36	325	175	194,0002

Pada cermin panas optimasi 36 lapis, dapat digambarkan diagram distribusi indeks bias lapis terhadap tebal optis .



Gambar 4.15 Diagram distribusi indeks bias terhadap tebal optis dari cermin panas 36 lapis.

Dari beberapa perancangan yang dilakukan. $\Sigma R(\lambda)$ cermin panas standar 10 lapis (648,1372) yang lebih besar dari pada 20 lapis (638,3149) dan 36 lapis (647,7814). Hal ini disebabkan pada $800 < \lambda < 1100$ dan $1600 < \lambda < 2000$ besarnya perubahan harga $R_{maksmini}$ berbeda. Dimana perubahan harga $R_{maks-min}$ 10 lapis $< R_{maks-min}$ 20 lapis $< R_{maks-min}$ 36 lapis.



... The brightest flame burns quickest ...

(Hetfield Ulrich)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari beberapa hasil rancangan cermin panas (*hot mirror*) yang telah dilakukan, baik cermin panas yang standar, mengalami pergeseran λ_{pusat} dan optimasi. Dapat dituliskan kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode *Trial and Error* dapat memperbaiki harga R_{Total} (%) cermin panas rancangan standar dari 5,9664% menjadi 70,3588 % (10 lapis), 53,1486 % menjadi 89,8018 % (20 lapis) dan 53,9368 % menjadi 97,7019 % (36 lapis).
2. Optimasi yang dilakukan mampu memperbaiki lebih lanjut harga R_{Total} (%) cermin panas secara optimal menjadi 74,3325 % (10 lapis), 90,2415 % (20 lapis) dan 98,3014 % (36 lapis).
3. Didapatkan rancangan cermin panas 36 lapis yang memiliki R_{Total} yang tidak jauh berbeda dari yang telah ada sebelumnya ^(Thelen 1996) (www.advanced-technology-coating.co.uk).
4. Agar hasil optimasi suatu fungsi segera didapatkan, dalam hal ini $f(d)$, maka tebakan nilai awal d harus mendekati harga d_{optimasi} yang sesungguhnya.

5.2 Saran

Dengan didasarkan pada hasil kesimpulan diatas, agar hasil penelitian ini menjadi lebih baik, maka dapat dituliskan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian tentang optimasi perancangan cermin panas pada daerah panjang gelombang cahaya tampak dan infra merah sesuai dengan hasil kontes desain cermin panas ^(Thelen, 1996).
2. perlu dilakukan percobaan dalam pembuatan cermin panas dengan variasi tebal yang dioptimasi berdasarkan hasil rancangan pada penelitian ini.

... Perbuatanmu lebih keras berbicara
dari pada perkataanmu ...

(J.C. Maxwell)

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Bustomi, A., Rohedi, A. Y. dan Zaki, M. (2002) Filter Dielektrik Dengan Daerah Penolakan Lebar, *Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya 1*, 166-170
- 2) Furman, Sh. A. dan Tikhonravov, A. V. (1992) *Basics of Optics of Multilayer System*, Edition Frontieres, Gif-Sur-Yvette
- 3) Heavens, O.S., (1991) *Optical Properties of Thin solid Films*, Dover Publications, Inc., New York
- 4) Penny, J. dan Lindfield, G. (1995) *Numerical Methods Using Matlab*, Ellis Horwood, New York
- 5) Thelen, A., (1996) Design of a Hot Mirror : Contest Result, *Applied Optics*, vol **35**, no **25**, 4966- 4977.
- 6) Tikhonravov, A. V. dan Trubetskov, M. K. (1994) "Development of The Needle Optimization Technique and New Features of Optilayer Design Software", in Optical Interference Coatings, *F. Abeles, ed., Proc. SPIE 2253*, 10-20
- 7) Tikhonravov, A. V., Trubetskov, M. K. dan DeBell G. W. (1996) Application of the needle Optimization Technique to The Design of Optical Coatings, *APPLIED Optics 23*, 5493-5506
- 8) *Www. Advanced-technologi-coating.co.uk*
- 9) Zaki, M., (1983) Pengaruh Variasi Tebal Lapisan Terhadap Sifat Optis Lapisan Tipis Berganda, *Ceramah HFI*, Surabaya



... apabila hari ini adalah sama dengan
kemarin itu adalah hal yang merugi...

(Muhammad SAW.)

LAMPIRAN



LAMPIRAN

1. Program Perhitungan Optimisasi

%PERHITUNGAN OPTIMISASI PADA RANCANGAN HOTMIRROR%

function dummy = filamen

global n;

global count;

global qa;

global qs;

a=2.3;

c=1.38;

qa = 1;

qs = 1.52;

count =input('jumlah lapis (10/20/36) = ');

for lapis=count

if lapis==10

n=[c a c a c a c a c a];% 10-lps

d=[900/4 900/4 900/4 1100/4 1100/4 1500/4 1500/4 1700/4 1700/4 1700/4]

lb=[10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10]

ub=[1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300]

elseif lapis==20

n=[c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a];%20-lps

d=[800/4 800/4 800/4 800/4 800/4 1175/4 1175/4 1175/4 1175/4 1175/4 ...
1425/4 1425/4 1425/4 1425/4 1425/4 1800/4 1800/4 1800/4 1800/4 ...
1800/4]

lb=[10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, ...
10, 10]

ub=[1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, ...
1300, ...

1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300]

else

n=[c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a];%36-lps

d=[700/4 700/4 700/4 700/4 700/4 700/4 1000/4 1000/4 1000/4 1000/4 ...
1000/4 1000/4 1200/4 1200/4 1200/4 1200/4 1200/4 1200/4 1400/4 ...
1400/4 1400/4 1400/4 1400/4 1400/4 1600/4 1600/4 1600/4 1600/4 ...
1600/4 1600/4 1900/4 1900/4 1900/4 1900/4 1900/4 1900/4]

lb=[10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, ...
10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10]

ub=[1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, ...
1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, ...
1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300, 1300]

end

end


```

fprintf('minimized d = \n');
disp(x);
fprintf('minimized y value = %f\n', y);
exitflag
output

%pengeplotan grafik hasil optimasi dan sebelum optimasi
lambda=800:1:2000;
nl=length(lambda);
for l=1:nl;
    [To(l), df]=filters(lambda(l), 'r', d, n, count, qa, qs);
end
hold on;
plot(lambda, To, lambda, T);

%perhitungan nilai defect
function [Defect, gradD] = minimized(d)

global n;
global count;
global qa;
global qs;

y = 0;
dy = 0;

fprintf('optimizing...');

%perhitungan gradien R
lambda0 = 800;
lambdan = 2000;
R = 0;
gradR = 0;
for k=lambda0:1:lambdan
    [y, dy] = filters(k, 'r', d, n, count, qa, qs);
    R = R + (1201^-1)*y*1;
    gradR = gradR + dy*1;
end

Defect = 121-R;
gradD = -gradR;
%perhitungan turunan pertama dan kedua dari Reflektansi dan Transmittansi
%terhadap tebal optisnya

function [f, df] = filters(lambda, flag, d, n, count, qa, qs)
m = eye(2);
ml = zeros([2 2 count]);

```

```

dmldl = zeros([2 2 count]);
for l=1:count
    k = 2*pi./lambda;
    phi = n(l)*d(l)*k;
    ql = n(l)*cos(phi);
    ml(:,l) = [cos(phi) j*sin(phi)/ql; j*ql*sin(phi) cos(phi)];
    dmldd(:,l) = k*n(l)*[-sin(phi) j*cos(phi)/ql; j*ql*cos(phi) -sin(phi)];
    m = m*ml(:,l);
end

m11 = m(1,1);
m12 = m(1,2);
m21 = m(2,1);
m22 = m(2,2);

t = (2*qa)/((qa*m11)+(qs*m22)+(qs*qa*m12)+m21);
r = ((qa*m11)-(qs*m22)+(qs*qa*m12)-
m21)/((qa*m11)+(qs*m22)+(qs*qa*m12)+m21);

dmdd = zeros([2 2 count]);
for l=1:count
    dmdd(:,l) = eye(2);
end

```

2. Program Perhitungan Trial and Error

%PERHITUNGAN HOT MIRROR DENGAN METODE TRIAL AND ERROR
 %TERHADAP PERGESERAN PANJANG GELOMBANG PUSAT

```

teta=0;%sudut datang sinar
N=input('jumlah Lapis (10/20/36) =');
lambda0=1300;%panjang gelombang pusat
tb=zeros(1,N);

for lapis=N
    if lapis==36
        dlambd1=input('delta lambda 1 = ');
        dlambd2=input('delta lambda 2 = ');
        dlambd3=input('delta lambda 3 = ');
        tb(1:(N/6))=(lambda0-dlambd1-dlambd2-dlambd3)/4;
        tb(((N/6)+1):1:(N/3))=(lambda0-dlambd1-dlambd2)/4;
        tb(((N/3)+1):1:(N/2))=(lambda0-dlambd1)/4;
        tb(((N/2)+1):1:((2*N)/3))=(lambda0+dlambd1)/4;
        tb(((2*N/3)+1):1:((5*N)/6))=(lambda0+dlambd1+dlambd2)/4;
        tb(((5*N/6)+1):1:N)=(lambda0+dlambd1+dlambd2+dlambd3)/4;
    elseif lapis==20
        dlambd1=input('delta lambda 1 = ');
        dlambd2=input('delta lambda 2 = ');
    end
end

```



```

tb(1:(N/4))=(lambda0-dlambda1-dlambda2)/4;
tb(((N/4)+1):1:(N/2))=(lambda0-dlambda1)/4;
tb(((N/2)+1):1:(3*N/4))=(lambda0+dlambda1)/4;
tb(((3*N/4)+1):1:N)=(lambda0+dlambda1+dlambda2)/4;
else
    dlambda1=input('delta lambda 1 = ');
    dlambda2=input('delta lambda 2 = ');
    tb(1:1:3)=(lambda0-dlambda1-dlambda2)/4;
    tb(4:1:5)=(lambda0-dlambda1)/4;
    tb(6:1:7)=(lambda0+dlambda1)/4;
    tb(8:1:10)=(lambda0+dlambda1+dlambda2)/4;
end
end

ns=1.52;
nu=1;
a=2.3;
c=1.38;
nt=zeros(1,N);
nt(1:N)=c;
nt(2:2:N)=a;
lambda=800:1:2000;
nl=length(lambda);
r=zeros(1,nl);
t=zeros(1,nl);
for l=1:nl;
    m = eye(2);
    mi=zeros(2);
    for i=1:N
        beta(i)=2*(22/7)*tb(i)./lambda(l);
        mi = [cos(beta(i)) -j*sin(beta(i))/nt(i);-j*nt(i)*sin(beta(i))
cos(beta(i))];
        m=m*mi;
    end
    a=m(1,1);
    b=m(1,2);
    c=m(2,1);
    d=m(2,2);
    r(l)=((a*ns)+(b*ns*nu)-c-(d*nu))/((a*ns)+(b*ns*nu)+c+(d*nu));
end
R=abs(r).^2;
Rtot=sum(R);
pR=Rtot/1201;
'Rtotal    R% '
tabel=[Rtot;pR]
plot(lambda,R)
end

```

3. Program Perhitungan reflektansi Total dari rancangan Standar, Trial and Error-optimisasi

% PERHITUNGAN HOTMIRROR STANDAR-TRIAL AND ERROR
% DAN OPTIMASI

```
teta=0;
ns=1.52;
nu=1;
a=2.3;
c=1.38;
count=input('jumlah lapis (10/20/36) = ');

for lapis=count
    if lapis==10
        nt=[c a c a c a c a c a];% 10-lps
        jenis=input('rancanga (standar=1, Trial Error=2 optimasi=3) = ');
        if jenis==1
            tb(1:count)=1300/4;
        elseif jenis==2
            tb=[900/4 900/4 900/4 1100/4 1100/4 1500/4 1500/4 1700/4 1700/4
                ...1700/4];
        else
            tb=[198.9046 214.0507 183.0081 238.8826 261.8193 436.6301 ...
                349.1540 426.5922 446.2982 408.9617];
        end
    elseif lapis==20
        nt=[c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a];%20-lps
        jenis=input('rancanga (standar=1, Trial Error=2 optimasi=3) = ');
        if jenis==1
            tb(1:count)=1300/4;
        elseif jenis==2
            tb=[800/4 800/4 800/4 800/4 800/4 1175/4 1175/4 1175/4 1175/4 ...
                1175/4 1425/4 1425/4 1425/4 1425/4 1425/4 1800/4 1800/4 ...
                1800/4 1800/4 1800/4];
        else
            tb=[200.3155 202.9079 195.2530 200.4465 197.1621 297.2092 ...
                296.7608 286.7513 294.1115 288.4219 356.9987 350.1658 ...
                357.5032 352.6001 358.6144 453.4582 446.9730 453.8215 ...
                447.9974 453.4354];
        end
    else
        nt=[c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a c a];%36-lps
        jenis=input('rancanga (standar=1, Trial Error=2 optimasi=3) = ');
        if jenis==1
            tb(1:count)=1300/4;
        elseif jenis==2
            tb=[700/4 700/4 700/4 700/4 700/4 700/4 1000/4 1000/4 1000/4 1000/4 ...
```



```

1000/4 1000/4 1200/4 1200/4 1200/4 1200/4 1200/4 1200/4 ...
1400/4 1400/4 1400/4 1400/4 1400/4 1400/4 1600/4 1600/4 ...
1600/4 1600/4 1600/4 1600/4 1900/4 1900/4 1900/4 1900/4 ...
1900/4 1900/4];
else
    tb=[194.0002 193.7500 193.7602 194.0000 193.7500 193.7600 ...
        243.7508 244.0009 243.8729 243.5600 243.8001 244.0009 ...
        288.0000 287.5000 287.4909 286.9999 290.0000 287.5600 ...
        362.5201 362.6000 362.5400 362.4900 362.5100 363.0009 ...
        406.2500 407.0002 408.0001 406.3005 406.2501 405.9998 ...
        457.0000 456.2500 457.0503 456.2500 456.2606 455.9998];
end
end
end

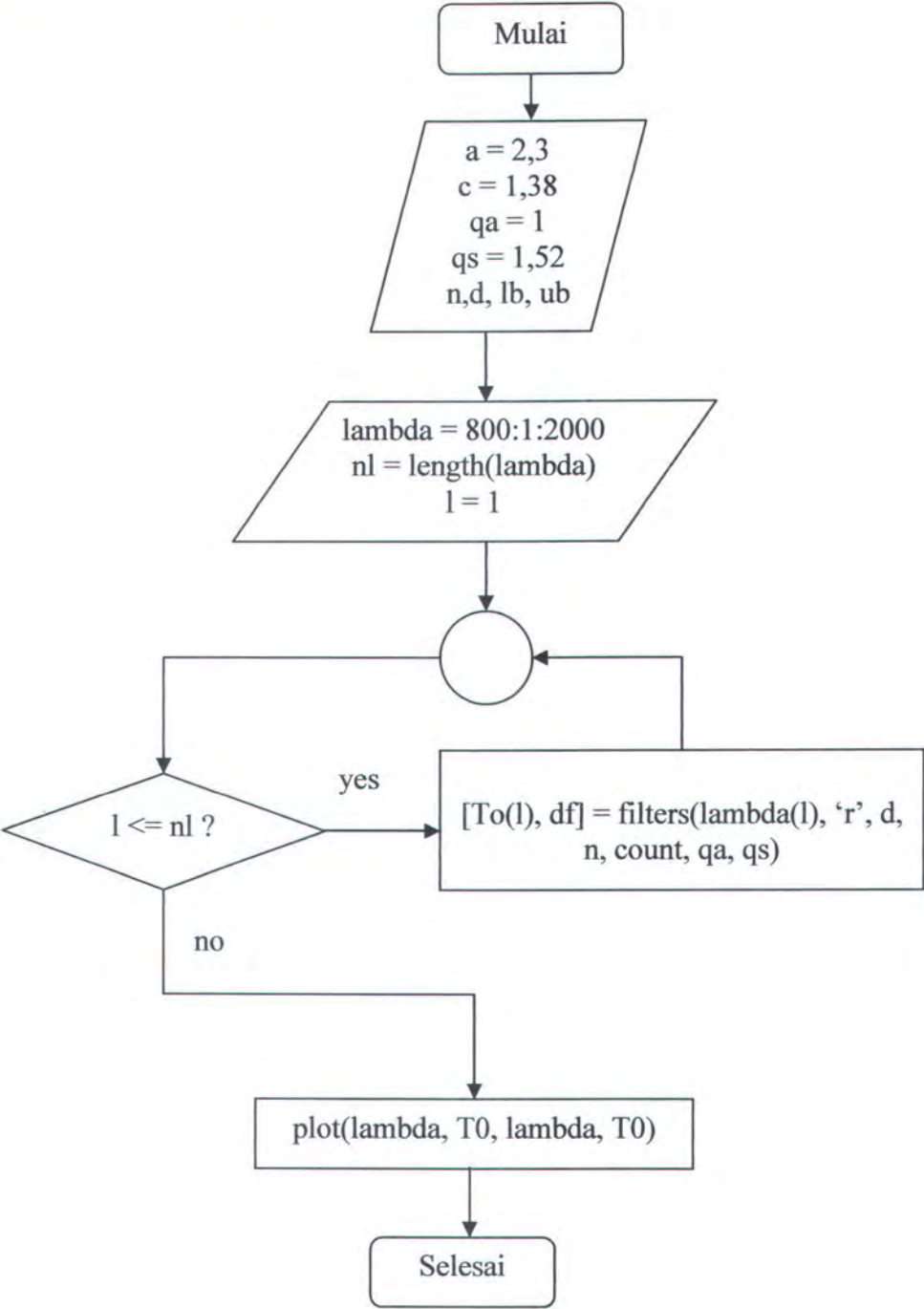
lambda=800:10:2000;
nl=length(lambda);
r=zeros(1,nl);
t=zeros(1,nl);

for l=1:nl;
    m = eye(2);
    mi=zeros(2);
    for i=1:count
        beta(i)=2*(22/7)*tb(i)./lambda(l) ;
        mi = [cos(beta(i)) -j*sin(beta(i))/nt(i);-j*nt(i)*sin(beta(i))
cos(beta(i))];
        m=m*mi;
    end
    a=m(1,1);
    b=m(1,2);
    c=m(2,1);
    d=m(2,2);
    r(l)=((a*ns)+(b*ns*nu)-c-(d*nu))/((a*ns)+(b*ns*nu)+c+(d*nu));
end

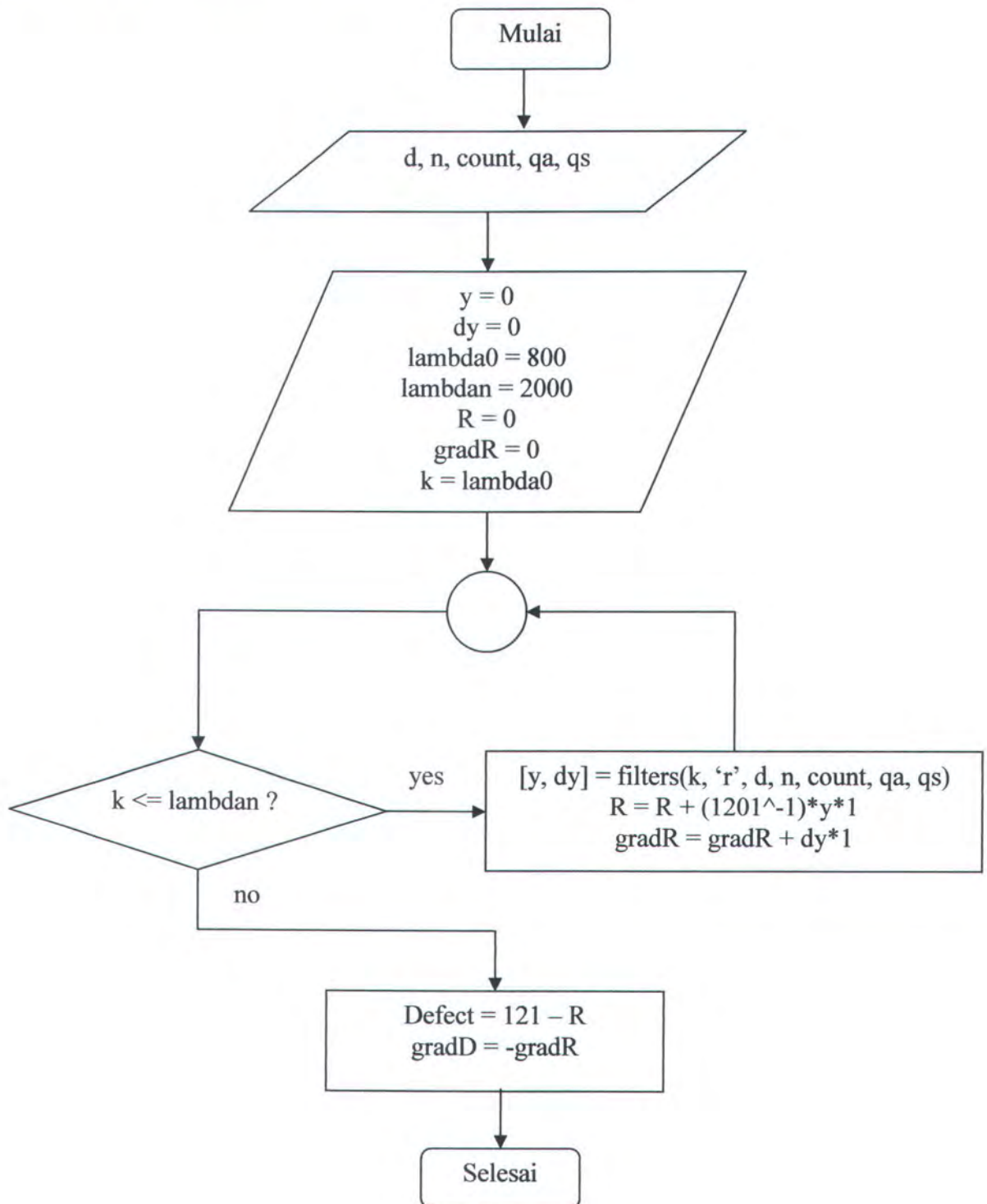
R=abs(r).^2;
Rtot=sum(R);
pR=Rtot/1201;
tabel=[Rtot;pR]'
plot(lambda,R)
end

```

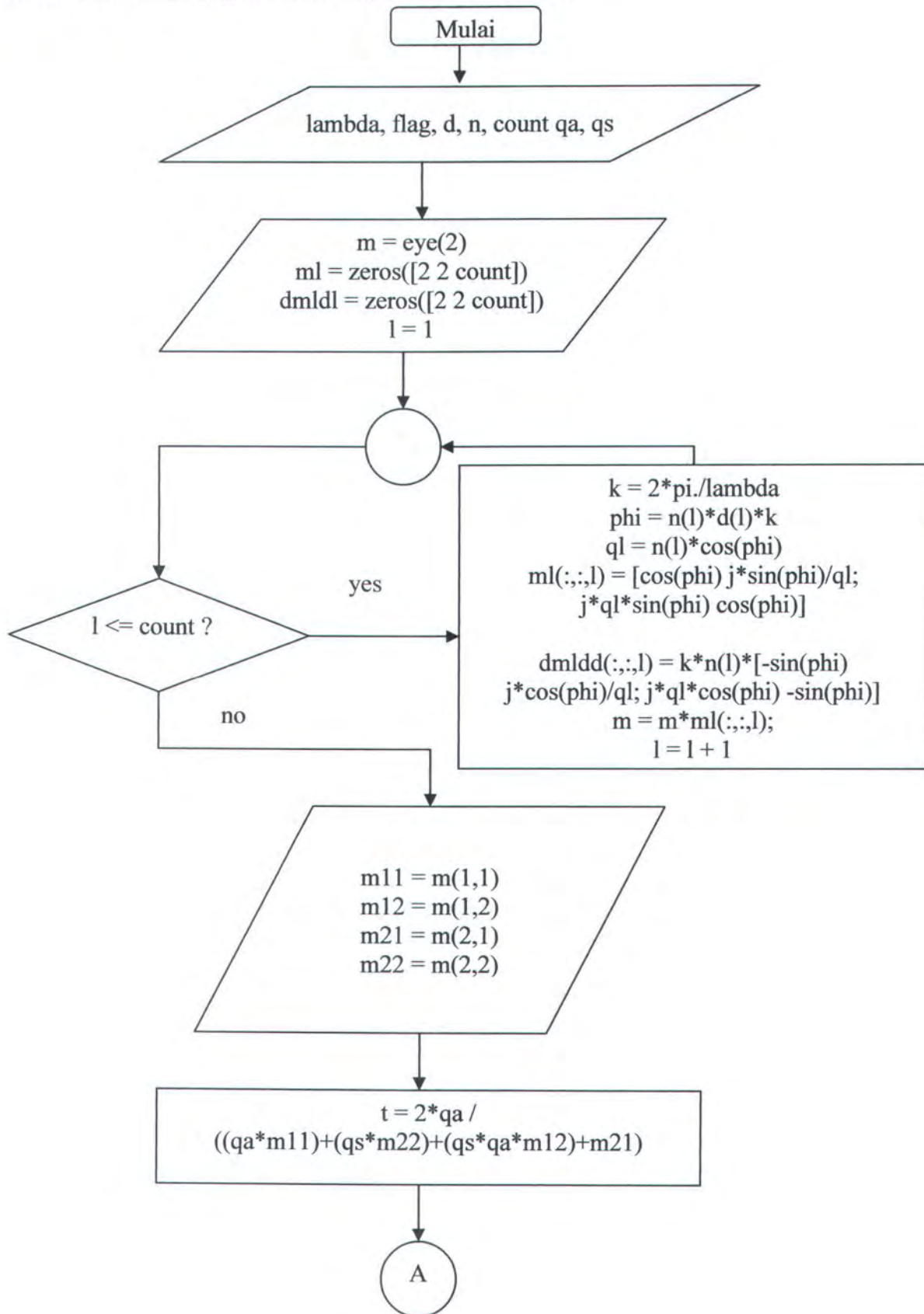
4. Flow Chart pengeplotan Grafik hasil Optimasi

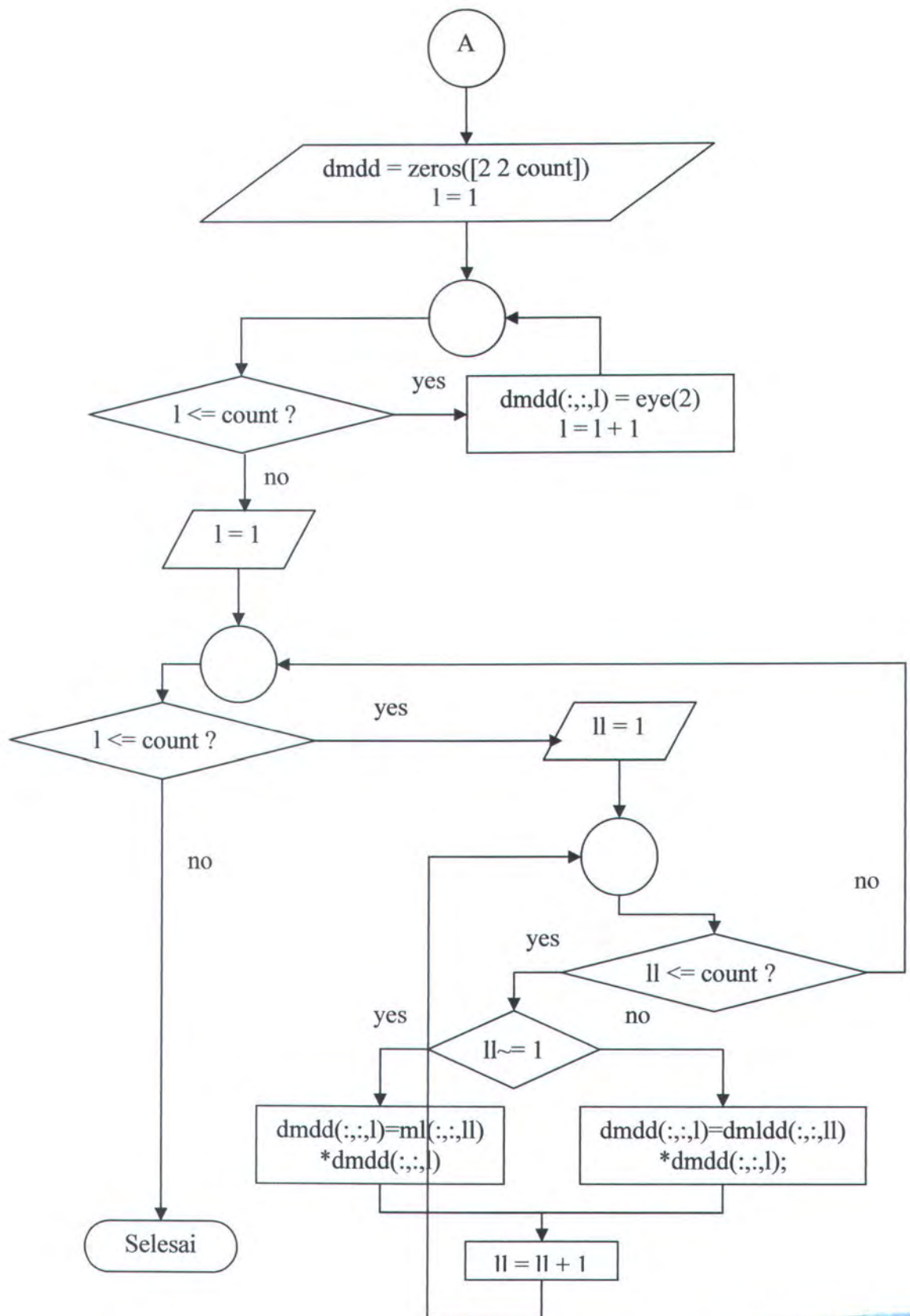


5. Flow Chart Perhitungan Fungsi Defect

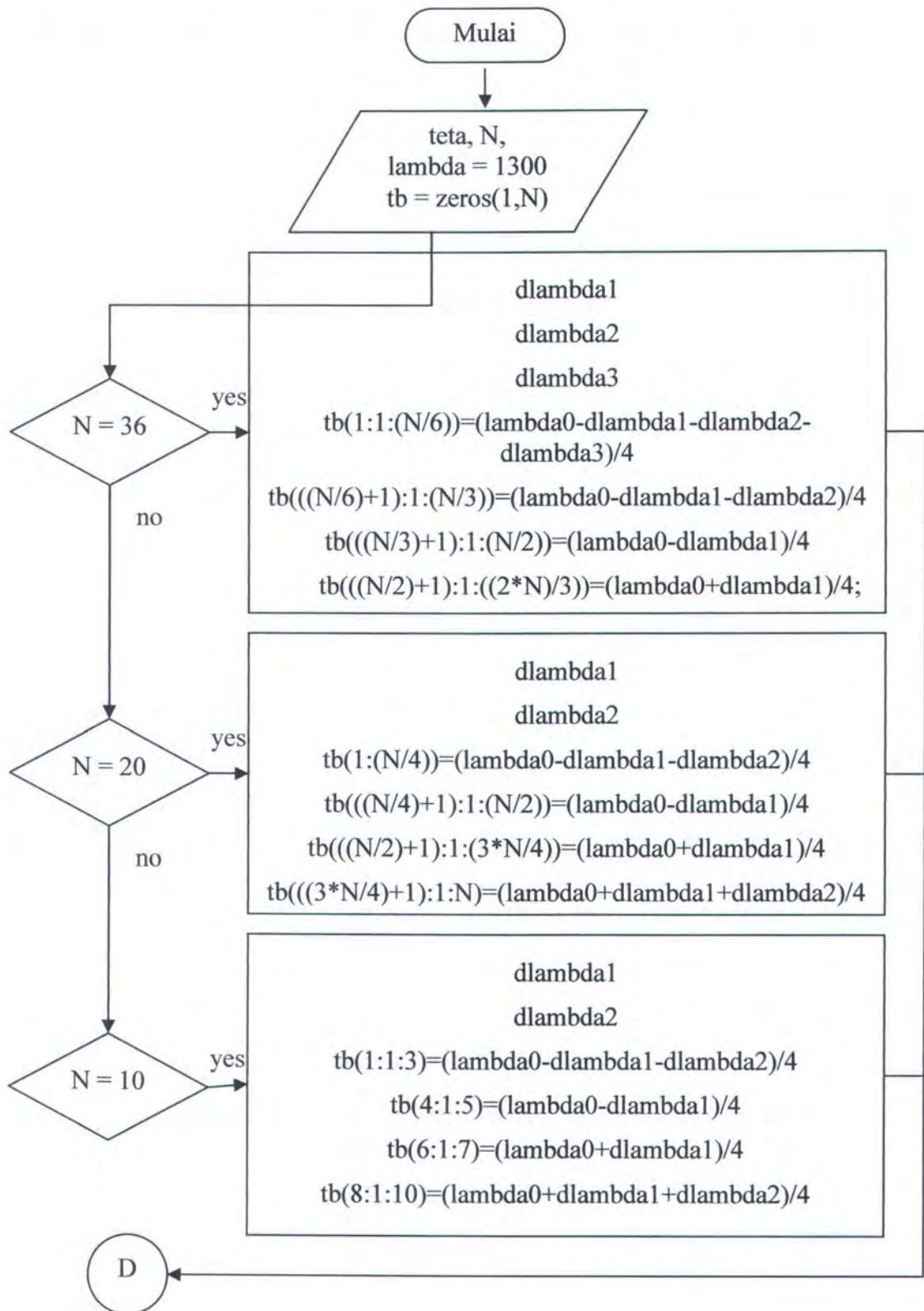


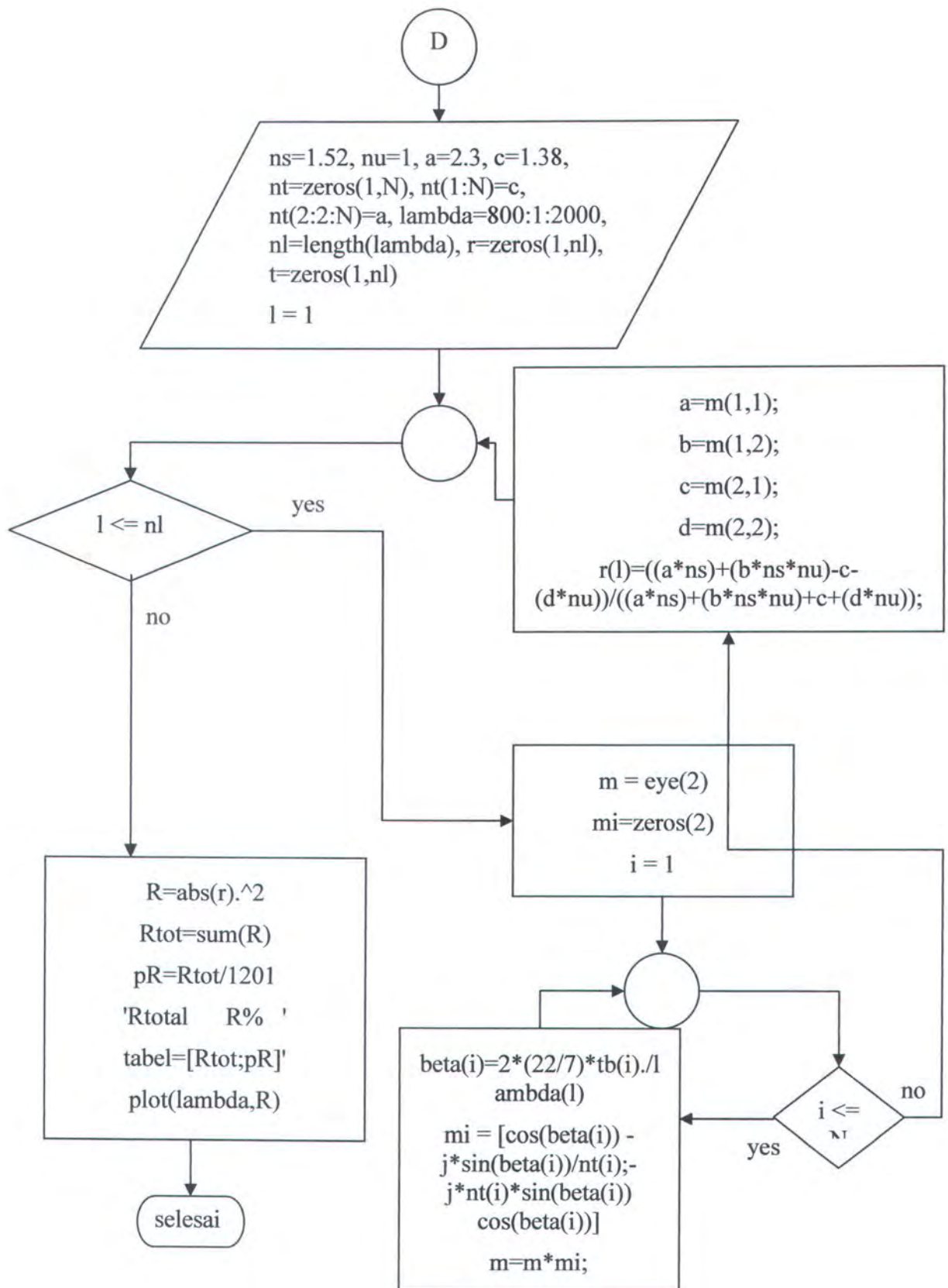
6. Flow Chart Perhitungan Turunan pertama dan Kedua





7. Flow Chart Perhitungan Trial and Error Pada Pergeseran Lamda Pusat





8. Flow Chart Perhitungan Rancangan Standar, Pergeseran Lamda Pusat dan Optimasi

